

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra robototechniky

Konstrukce motorizovaného nákupního vozíku pro tělesně postižené
Design of a Motorized Shopping Cart for the Handicapped

Student:
Vedoucí diplomové práce:

Jan Homola
doc. Ing. Zdeněk Konečný, Ph.D.

Ostrava 2012

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Jan Homola**
Studijní program: N2301 Strojní inženýrství
Studijní obor: 2301T013 Robotika
Téma: **Konstrukce motorizovaného nákupního vozíku pro tělesně postižené**
Design of a Motorized Shopping Cart for the Handicapped

Zásady pro vypracování:

1. Analyzujte pomůcky pro tělesné postižené. Specifikujte situace, se kterými se mohou setkat tělesně postižení, odkázání na invalidní vozík.
2. Definujte scénář nákupu vozíčkáře v super a hypermarketech.
3. Navrhněte varianty řešení servisního robotu, nákupního košíku, pro tělesně postižené.
4. Pomocí hodnotové analýzy vyberte optimální variantu, kterou zpracujte do fáze technického řešení.
5. Technické řešení optimální varianty doložte potřebnými výpočty a výkresovou dokumentací.
6. Vypočtete náklady na výrobu prototypu navrženého motorizovaného nákupního vozíku.

Seznam doporučené odborné literatury:

Zásady pro vypracování diplomové (bakalářské) práce. [online] Dostupné z [www: <http://robot.vsb.cz/pozadavky-na-prace>](http://robot.vsb.cz/pozadavky-na-prace)

ČSN 01 6910 Úprava písemností psaných strojem nebo zpracovaných textovými editory. Praha: Český normalizační institut, srpen 1997. 36 s.

ČSN ISO 690 Bibliografické citace. Obsah, forma a struktura. Praha: Český normalizační institut, 1996. 32 s.

SKAŘUPA, J. *Kreativita a inovační myšlení v konstruování*. 1. vyd. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2007. 230 s. ISBN 978-80-248-1717-0. [online] Dostupné z [www: <http://robot.vsb.cz/files/resources/kreativita_a_inovace.pdf>](http://robot.vsb.cz/files/resources/kreativita_a_inovace.pdf)

SKAŘUPA, J - MOSTÝN, V. *Metody a prostředky návrhu průmyslových a servisních robotů*. 1. vydání, Košice: Edice vědecké a odborné literatury – Strojní fakulta TU v Košicích, 2002. s 190. ISBN 80-88622-55-0

PALKO, A. - SMRČEK, J. *Robotika, koncové efekty pre priemyslné a servisné roboty*. Košice: Edícia vedeckej a odbornej literatúry strojníckej technickej univerzity v Košiciach, 2004. 77 s.
ISBN 80-8073-218-3

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. Zdeněk Konečný, Ph.D.**

Datum zadání: 16. 12. 2011

Datum odevzdání: 21. 05. 2012



prof. Dr. Ing. Petr Novák
vedoucí katedry



prof. Ing. Radim Farana, CSc.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě dne 20. 5. 2011


A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Homola', followed by a horizontal dotted line.

Jan Homola

Prohlašuji, že

- byl jsem seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména §35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a §60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že jeden výtisk diplomové práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB-TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o diplomové práci, obsažené v Záznamu o závěrečné práci, umístěném v příloze mé diplomové práce, budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu §12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě: 15.5.2011



Jan Homola

Jugoslávská 18 b

Ostrava – Zábřeh

700 30

ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

HOMOLA, J. *Konstrukce motorizovaného nákupního vozíku pro tělesně postižené: diplomová práce*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra robototechniky, 2012, 64 s. Vedoucí práce: Konečný, Z.

Diplomová práce se zabývá konstrukčním návrhem motorizovaného nákupního vozíku pro tělesně postižené s nosností 30 kg. Součástí vozíku je i manipulátor s dvoučelistovým efektozem a nosností 2,5 kg.

Práce obsahuje varianty řešení a výběr optimální varianty na základě hodnotové analýzy. Optimální varianta je rozpracována do úrovně sestavného výkresu a 3D modelu s využitím CAD systému Pro/ENGINEER. Práce dále obsahuje kontrolu namáhaných částí v programu MITCalc a celkové náklady spojené s výrobou prototypu.

ANNOTATION OF MASTER THESIS

HOMOLA, J. *Design of a Motorized Shopping Cart for the Handicapped: Master Thesis*. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Robotics, 2012, 64 p. Thesis head: Konečný, Z.

Master thesis is dealing with *design of a motorized shopping cart for the handicapped* with capacity 30 kg. Part of truck is a manipulator with a capacity of 2.5 kg.

The thesis includes solutions and selection of optimal variant based on value analysis.. The optimal variant is developed to the level drawings and 3D model using CAD system Pro/Engineer. The work also contains the control exposed part and total cost associated with the production of prototype.

Obsah

Seznam použitých značek a symbolů	9
0 Úvod	10
1 Tělesné postižení	11
2 Pomůcky pro tělesně postižené	12
2.1. Invalidní vozík	12
2.2. Nákupní vozík pro tělesně postižené.....	14
2.3. Uchopovací pomůcky pro tělesně postižené	14
2.4. Pomůcky pro vybavení koupelen	15
2.5. Ostatní pomůcky	15
2.6. Situace se kterými se mohou setkat lidé na invalidním vozíku.....	15
3 Scénář nákupu vozíčkáře v super a hypermarketu	16
4 Požadavkový list.....	17
5 Varianty řešení	18
5.1. Varianta I.....	18
5.2. Varianta II	20
5.3. Varianta III	22
6 Hodnotová analýza	24
6.1. Hodnocená kritéria	24
6.2. Hodnoty kritérii	24
6.3. Určení významnosti kritérii.....	24
6.4. Hodnocení jednotlivých variant	25
6.5. Výpočet celkových indexů variant a výběr optimální varianty	26
6.6. Zhodnocení vybrané varianty	26
7 Návrh pohonu mobilního robotu	27
7.1. Návrh pohonu.....	27
8 Podvozek	32

8.1.	Pohonná jednotka	32
8.2.	Hnaná náprava.....	33
8.3.	Rám	34
8.4.	Akumulátor	34
8.5.	Výpočet přibližné doby provozu	35
8.6.	Nákupní košík	35
9	Manipulátor - popis	36
9.1.	Popis prvního a druhého kloubu	37
9.2.	Teleskopické rameno T1	37
9.3.	Popis třetího kloubu a orientačního ústrojí	39
10	Manipulátor – návrh pohonu	40
10.1.	Návrh pohonu pro rotační vazbu R4	40
10.2.	Návrh pohonu pro rotační vazbu R3	42
10.3.	Návrh pohonu pro rotační vazbu R2	44
10.1.	Návrh pohonu pro rotační vazbu R1	45
11	Efektor	47
12	Základní parametry nákupního vozíku.....	49
13	Kontrola ramen manipulátoru	50
14	Kontrolní výpočty ostatních namáhaných částí.....	52
14.1.	Kontrola hřídelí	52
14.2.	Kontrola per.....	52
14.3.	Kontrola ložiska SKF 5304A2Z.....	53
15	Ekonomické zhodnocení	54
16	Závěr.....	57
17	Seznam použité literatury	59
18	Seznam příloh.....	61
19	Seznam obrázků	62
20	Seznam tabulek.....	64

Seznam použitých značek a symbolů

Symbol	Význam	Jednotky
F_K	Hnací síla	N
F_{Kj}	Potřebná hnací síla na jedno kolo	N
G	Tíha servisního robotu	N
I	Moment setrvačnosti ramene	kgm^2
I_M	Proudový odběr motoru	A
K_A	Kapacita akumulátoru	Ah
M	Celkový moment příslušného ramene	Nm
M_D	Dynamický moment příslušného ramene	Nm
M_H	Hnací moment působící na kolo	Nm
M_{Kj}	Potřebný moment na jedno kolo	Nm
M_S	Statický moment příslušného ramene	Nm
O_f	Valivý odpor	
O_s	Odpor stoupání	
O_v	Vzdušný odpor	
O_z	Odpor zrychlení	
P_{Kj}	Potřebný výkon na jedno kolo	W
R	Součet jízdních odporů	
T	Přibližná doba provozu	s
Z_K	Radiální reakce podlahy	N
a	Zrychlení ramene	ms^{-2}
a_p	Zrychlení robotu	ms^{-2}
e	Excentricita radiální reakce terénu	-
f_k	Součinitel valivého odporu kola	
g	Gravitační zrychlení	ms^{-2}
l_{OM}	Vzdálenost těžiště OM	mm
l_{Tef}	Vzdálenost těžiště efektoru	mm
m	Hmotnost robotu	kg
m_{ef}	Hmotnost efektoru	kg
m_{OM}	Hmotnost OM	kg
n_{Kj}	Potřebné otáčky na jedno kolo	min^{-1}
r_K	Valivý poloměr kola	mm
v	Rychlost robotu	ms^{-1}
α	Úhel sklonu povrchu	°
ε	Zrychlení ramene	rads^{-2}
ω	Úhlová rychlost ramene	rads^{-1}
ϑ	Součinitel vlivu rotačních částí	

0 Úvod

V dnešní době stále více přibývá lidí s pohybovým postižením, kteří jsou připoutáni na invalidní vozík. Těmto lidem se snaží pomoci spousta firem, které nabízí široký sortiment kompenzačních pomůcek určených k usnadnění každodenního života těchto lidí.

Jednou z nepříjemností pro lidi s invalidním vozíkem je nakupování, které pro ně může být ve většině případů velmi komplikované, ne všechny obchody jsou totiž přizpůsobeny pro pohyb lidí na invalidním vozíku a ani rozmístění zboží těmto lidem nakupování neulehčuje. Pokud nemohou dosáhnout na zboží, které je umístěné v horních policích, jsou často nuceni se dotazovat kolemjdoucích o pomoc.

A právě tento problém by měla vyřešit tato diplomová práce, jejímž cílem je navrhnout nákupní vozík, který by pojmul dostatečně velký nákup a zároveň by postiženým lidem umožnil odebírat zboží, na které z normálního invalidního vozíku nemohou dosáhnout.

1 Tělesné postižení

Pojem tělesné postižení bývá obvykle redukován pouze na postižení pohybového ústrojí. Jako tělesně postižená je obecně vnímána osoba, jejíž pohybový handicap je zjevný a nedá se přehlédnout. Také zákon, který vymezuje tělesná postižení, se omezil pouze na takové definice tělesně postižených, které mají přímou souvislost s pohybovým postižením.

Tělesná postižení mohou být vrozená nebo získaná. Vrozené vady vznikají buď během těhotenství, nebo při porodu. Získaná postižení může způsobit buď úraz, nebo různé choroby. Na rozdíl od vrozených vad mohou vzniknout v kterémkoli období života.

Druhy tělesných postižení:

- *Obrny centrální a periferní* - poruchy hybnosti na základě poškození mozku v době před porodem, při porodu, nebo do určité doby po něm, asi do jednoho roku věku dítěte.
- *Deformace* - vrozené nebo získané vady, které se vyznačují nesprávným tvarem některé části těla. Mezi vrozené deformace řadíme vývojové deformace lebky, kloubů a svalů.
- *Malformace* - vrozená vývojová vada, patologické vyvinutí různých částí těla, nejčastěji jsou to končetiny.
- *Amputace* - umělé odnětí části končetiny od trupu. Příčinou mohou být úrazy, cévní onemocnění, zhoubné nádory na končetinách, sepse infekčního původu a jiné.

[9]

2 Pomůcky pro tělesně postižené

Produkt, nástroj, pomůcka, zařízení nebo technický systém užívaný osobou s handicapem. Jsou vyráběny individuálně nebo jsou k dostání na běžném trhu. Jsou určeny k vyrovnávání funkčních omezení, zvýšení a posílení nezávislosti, pohyblivosti, pomáhá při každodenních činnostech. Zvyšují kvalitu života člověka s handicapem.

2.1. Invalidní vozík

Invalidní vozík je kompenzační pomůcka, která usnadňuje život osobám s různými druhy postižení. Vozík umožňuje těmto osobám pohyb v prostředí bez architektonických bariér, ale nejen to, vozík může být také dokonalou sportovní pomůckou, která umožní odehrát basketbalový turnaj, vyhrát maratón anebo ovládnout taneční parket.

Invalidní vozíky můžeme rozdělit na:

- *Mechanický*
- *Elektrický* - při těžších postižení, kde je výrazně omezena motorika horních končetin natolik, že použití mechanického vozíku je buď úplně nemožné, nebo velmi omezené. Mohou být interiérové skládací, exteriérové standardní a do terénu.

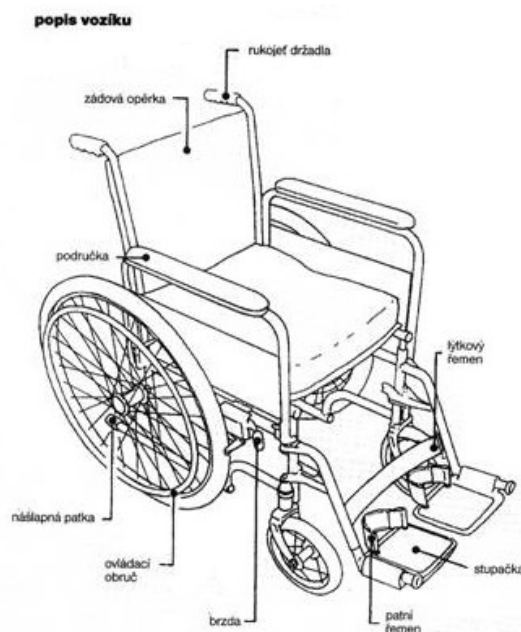


Obr. 1 - Invalidní vozíky

Mechanické vozíky můžeme dále rozdělit na:

- **Pasivní** - slouží k přepravě s pomocí jiných osob. Jejich uživatel je de facto odkázaný na pomoc okolí. Tyto vozíky se používají převážně v nemocnicích či v domovech důchodců. Jsou charakteristické vysokou zádovou opěrkou s ručkami pro vedení klienta na vozíku, vysokými bočnicemi s područkami a někdy také absenci poháněcí obruče.

- **Aktivní** – jejich konstrukce umožňuje majitelům těchto vozíků zapojit se do společnosti. Jsou charakteristické svou nízkou hmotností (kolem 13-15 kg), lehkou ovladatelností, atraktivním vzhledem a možností jejich složení (rozložení) pro přepravu autem.
- **Speciální** - mezi speciální vozíky se řadí vozíky pro děti, vozíky pro osoby s hemiplegií, vozíky s přídavným servomotorem a jiné.



Obr. 2 - Popis invalidního vozíku



Obr. 3 - Sportovní invalidní vozík

- **Sportovní** - jsou konstruovány tak, aby vyhovovaly jednotlivým sportům. Většinou se jedná o lehké, dobře ovladatelné a velmi drahé vozíky. Na jejich konstrukci se podílejí samotní sportovci. Jsou vyráběny z ultralehkých materiálů při využití biomechanických zákonů. Sportovní vozíky jsou většinou krabicového typu.

Pro přepravu invalidními vozíky jsou nutné zvláštní podmínky, zejména rovný povrch komunikací, bezbariérové nájezdy, výtahy, zvedací plošiny, nízkopodlažní vozidla, dostatečný průjezdní profil a manipulační prostor v místech, kde je třeba se otáčet, vystupovat a nastupovat jako třeba na WC, parkovištích a podobně.

Kompenzační pomůcky nejsou jen invalidní vozíky a různá chodítka, ale jedná se také o drobné předměty denní potřeby upravené tak, aby bylo možné je používat i v případě omezené hybnosti. Význam kompenzačních pomůcek je pro člověka s pohybovým postižením naprosto klíčový, bez nich by se v extrémním případě jeho svět srazil jen mezi čtyři zdi pokoje.

[8], [10]

2.2. Nákupní vozík pro tělesně postižené

Jedná se o speciálně vyvinutý nákupní košík pro lidi připoutané na invalidní vozík.

Hodí se na všechny elektrické a jinak běžné typy invalidních vozíků. Lze jej snadno připnout k invalidnímu vozíku a vytvořit s ním jeden celek. Každý pohyb vozíčkáře je poté synchronně prováděn i nákupním vozíkem. Lze jej stejně snadno odepnout, pokud chce vozíčkář najet přímo k regálu [11].



Obr. 4 - Nákupní košík pro vozíčkáře

2.3. Uchopovací pomůcky pro tělesně postižené

Pro lidi na vozíku je velmi obtížné uchopení předmětů ze země či jiných vzdálenějších míst, na která nedosáhnou. Pro tyto případy je k dostání velká řada uchopovacích pomůcek, které se liší dosahem, tvarem a počtem čelistí.

- Jednočelistové
- Dvoučelistové

Některé typy podavačů mohou být vybaveny magnetem pro sbírání drobných kovových předmětů.



Obr. 5 - Jednočelistový podavač s magnetem

Podavač na obrázku 5 je možno „zlomit“ na dvě poloviny a tím výrazně uspořit prostor potřebný pro jeho úschovu. Podavač má celkovou délku 80 cm a kleštiny je možno aretovat ve stisknuté poloze. Má velmi lehkou konstrukci



Obr. 6 - Dvoučelistový podavač

z duralu s umělohmotným madlem. Uchopovací kleštiny jsou tvořeny gumovými přísavkami, zajišťující pevné a šetrné uchopení. [8]

2.4. Pomůcky pro vybavení koupelen



Obr. 7 – Sedátko do sprchy

Základní pomůcky do koupelny tvoří uchopovací madla. Madla slouží k usnadnění pohybu v koupelně a na toaletě. Především pak slouží jako opora při usedání a vstávání z toalety, při vstupu do vany nebo do sprchového koutu. Mezi další kompenzační pomůcky pro tělesně postižené patří sedátka do sprchy - viz obrázek 7, sklopná zrcadla, zvedáky do vany a jiné. [10]

2.5. Ostatní pomůcky

Jedná se o nejrůznější drobné pomůcky a doplňky pomůcek, které mohou tělesně postiženým usnadnit život, např. pogumované obruče, rukavice pro vozíčkáře, polohovatelná lůžka, protiskluzové podložky a jiné.

2.6. Situace se kterými se mohou setkat lidé na invalidním vozíku

Mezi nejčastější situace bezesporu patří nutnost překonání fyzických bariér. Fyzickými bariérami jsou **reálná omezení v prostředí**, ve kterém žijeme a ve kterém se každý den pohybujeme. Komplikují nebo zcela znemožňují pohyb osob s postižením v daném prostředí.

Jednou z největších bariér pro invalidní vozík jsou schody. V dnešní době naštěstí už ani ty nepředstavují nepřekonatelný problém, existují totiž zařízení, s jejichž pomocí je možné překážky v podobě schodiště lehce zdolat. Avšak nejde jen o zvedací plošiny, jejichž montáž je technicky náročná a drahá. Jedním z dostupnějších řešení je schodolez na obrázku 8. Jedná se o mobilní zařízení určené k překonávání bariér pro tělesně postižené občany.



Obr. 8 - Schodolez

3 Scénář nákupu vozíčkáře v super a hypermarketu

Prvotním úkolem po příjezdu invalidy na parkoviště je nalezení vhodného místa k parkování. Zpravidla by mělo být co nejbližší k hlavnímu vchodu, který je ve většině případů uzpůsobený pro pohodlný vjezd pro vozíčkáře.



*Obr. 9 - Označení
parkoviště pro
invalidy*

Velké procento super a hypermarketů nemá k dispozici vhodně vybavené nákupní vozíky (obr. 4) tak, aby je byly schopni používat i lidé s postižením. Z tohoto důvodu jsou vozíčkáři nuceni používat nákupní košík položený na klíně, což je nepříjemné a může tak i snižovat komfort při nakupování.

Dalším úskalím při nákupu může být již v úvodu zmiňované vysoko položené zboží, ke kterému nemá vozíčkář přístup bez cizí pomoci. Může se však setkat s neochotou kolemjdoucích a to mu může pokračování v nákupu značně znepříjemnit.

Při pohybu mezi uličkami můžou být překážkou často nevhodně umístěné palety s akčním zbožím, kterým se musí vozíčkář s obtížemi vyhýbat nebo dokonce zvolit i jinou trasu.

S obtížemi se vozíčkář může setkat také při placení u pokladen. Ty jsou pro sedícího vozíčkáře vysoko a znamenají pro něj ztížení při vykládání zboží na pás. Někdy jsou pokladny tak blízko u sebe, že projetí osoby na vozíčku jde jen s velkými obtížemi, v horším případě je zcela nemožné.

4 Požadavkový list

Tato kapitola se zabývá stanovením požadavků na nákupní vozík. Na základě těchto požadavků budou navrženy varianty kritérií.

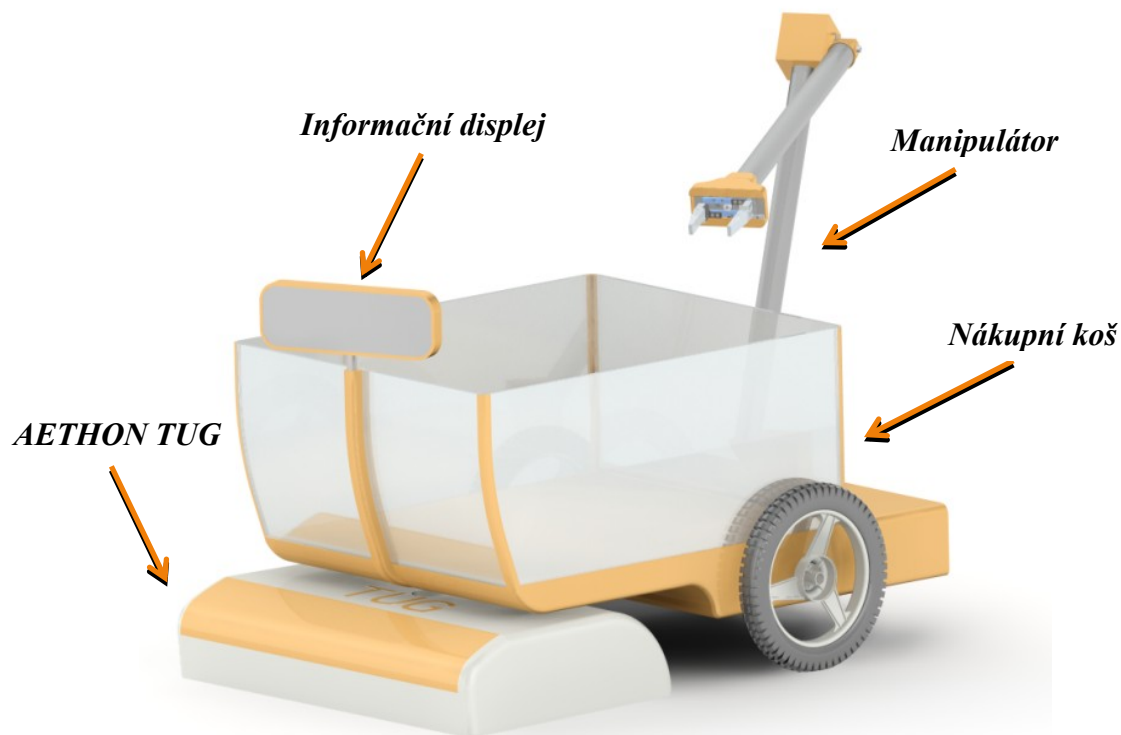
Požadavkový list je rozdělen na dva celky a to na požadavky na samotný podvozek a dále pak na požadavky na manipulátor.

Nákupní vozík	
Hlavní požadavky	
Nosnost	30 kg
Výdrž akumulátoru	1,5 hodiny (na jedno nabití)
Maximální rychlost	5 km/hod
Objem košíku	50 l
Maximální půdorysné rozměry	700 x 1000
Napájecí napětí	12 – 24 V
Funkční požadavky	
odolnost vůči prachu a vodě	
možnost vyjetí na parkoviště	
Manipulační subsystém	
Počet stupňů volnosti	3 – 5
Nosnost	2.5 kg
Hmotnost	max. 25 kg
Kamerový subsystém	
Přenos signálu	bezdrátový

Tabulka 1 – Požadavkový list

5 Varianty řešení

5.1. Varianta I



Obr. 10 - Varianta I

Základem první varianty je robotické vozítko AETHON TUG (obr. 11) navržené pro transport vozíků v nemocnicích a jiných zařízeních. Toto vozítko je navrženo pro pohyb ve vnitřním prostředí a díky množství senzorů je schopno reagovat na jakoukoliv situaci. Systém může pomocí Wi-Fi komunikovat s výtahy a jezdit tak mezi podlažími. Nosnost tohoto vozíku je necelých 200 kg. [12]



Obr. 11 - AETHON TUG

V zadní části vozíku je umístěn manipulátor se čtyřmi stupni volnosti a efektořem o nosnosti 3 kg. Na konci manipulátoru je umístěna kamera, která přenáší obraz v reálném čase do ovládacího zařízení, kterým vozíčkář manipulátor ovládá. Díky tomu je schopen bez větších obtíží dosáhnout i na zboží v horních policích.

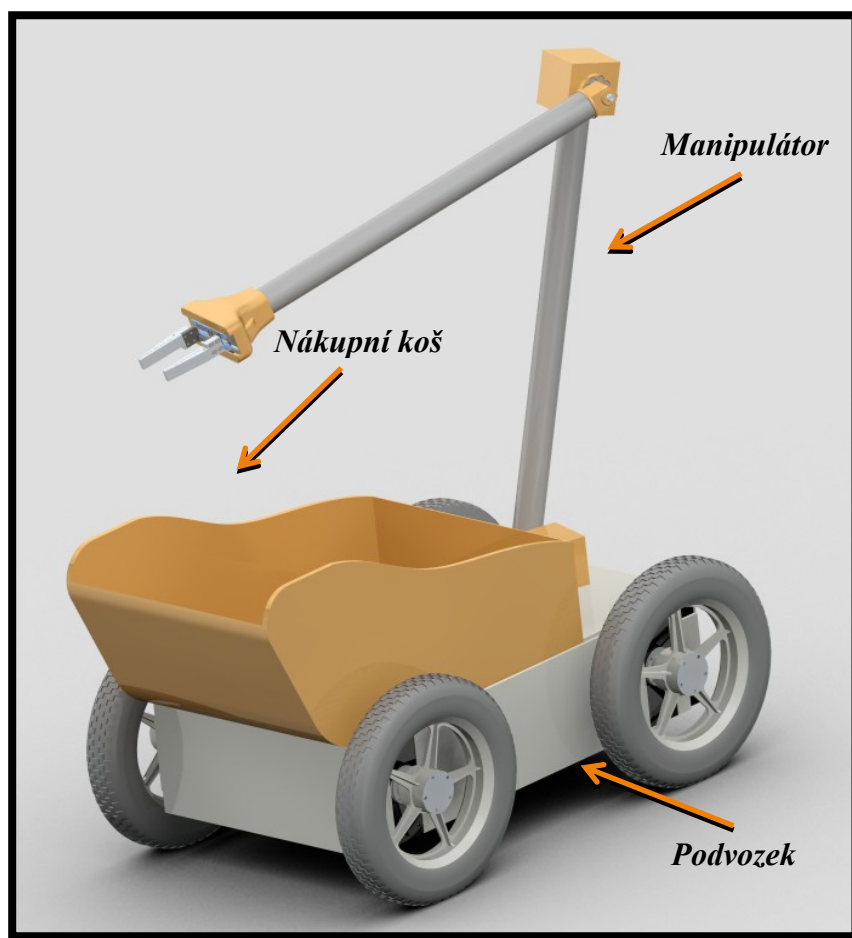
K vozíku je dodáváno bezdrátové dálkové ovládání, na kterém je možno zvolit několik režimů provozu. Základním režim je manuální ovládání, kdy je celý vozík řízen vozíčkářem. Druhý je režim tzv. „sledovací“, kdy vozík automaticky sleduje vozíčkáře a dokáže se přizpůsobit vzniklým situacím (nečekaná překážka, chodec v dráze vozíku a jiné). V posledním režimu je možno navolit druh požadovaného zboží a vozík automaticky navede vozíčkáře k vybranému zboží.

Vozík je vybaven otočným informačním displejem, na kterém je možno sledovat nákupní seznam, aktuální položku, ke které sleduje, výdrž baterie a mnoho dalšího.

Základní parametry	
Varianta I	
Pohon	AETHON TUG
Nosnost	200 kg
Výdrž akumulátoru	1,5 hodiny (na jedno nabití)
Maximální rychlost	5 km/hod
Objem košíku	50 l
Maximální půdorysné rozměry	700 x 1100
Napájecí napětí	24 V
Další funkce	
Odolnost vůči prachu a vodě	
Možnost vyjetí na parkoviště (po rampě pro vozíčkáře)	
Automatické sledování vozíčkáře	
Manipulátor	
Počet stupňů volnosti	4
Nosnost	3 kg

Tabulka 2 - Parametry varianty I

5.2. Varianta II



Obr. 12 - Varianta II

Druhá varianta využívá čtyř stejnosměrných motorů DKM a šnekových převodovek téhož výrobce, které pohání každé kolo. Toto řešení umožňuje v případě jízdy naprázdno využít pouze dvou pohonů a prodloužit tak výdrž baterií. Řízení tohoto vozíku je realizováno smykem.

Robot je vybaven přední a zadní kamerou přenášející obraz v reálném čase a umožňující tak vozíčkáři dálkově ovládat nákupní vozík.

Součástí vozíku je manipulační rameno se čtyřmi stupni volnosti a univerzální efektor schopný uchopit zboží do hmotnosti 2,5 kg a maximální šířky 110 mm. Na konci ramene je umístěna kamera, díky které má vozíčkář přehled o tom co manipulátorem uchopuje a bez větších obtíží je schopen uchopit i zboží z horních polic.

Dno ukládacího prostoru je ve výšce 350 mm a zajišťuje tak ergonomické vykládání nákupu z invalidního vozíku. Objem košíku je necelých 45 l, což je dostačující pro středně velký nákup.

I tato varianta může být vybavena displejem, na kterém se zobrazují základní informace jako například: nákupní seznam, stav nabití baterií, dojezd...

Základní parametry	
Varianta II	
Pohon	4x DC motor s převodovkou
Nosnost	40 kg
Výdrž akumulátoru	2,5 hodiny (na jedno nabití)
Maximální rychlost	5 km/hod
Objem košíku	45 l
Maximální půdorysné rozměry	680 x 1000
Napájecí napětí	24 V
Další funkce	
Odolnost vůči prachu a vodě	
Možnost vyjetí na parkoviště (po rampě pro vozíčkáře)	
Manipulátor	
Počet stupňů volnosti	5
Nosnost	2,5 kg

Tabulka 3 - Parametry varianty II

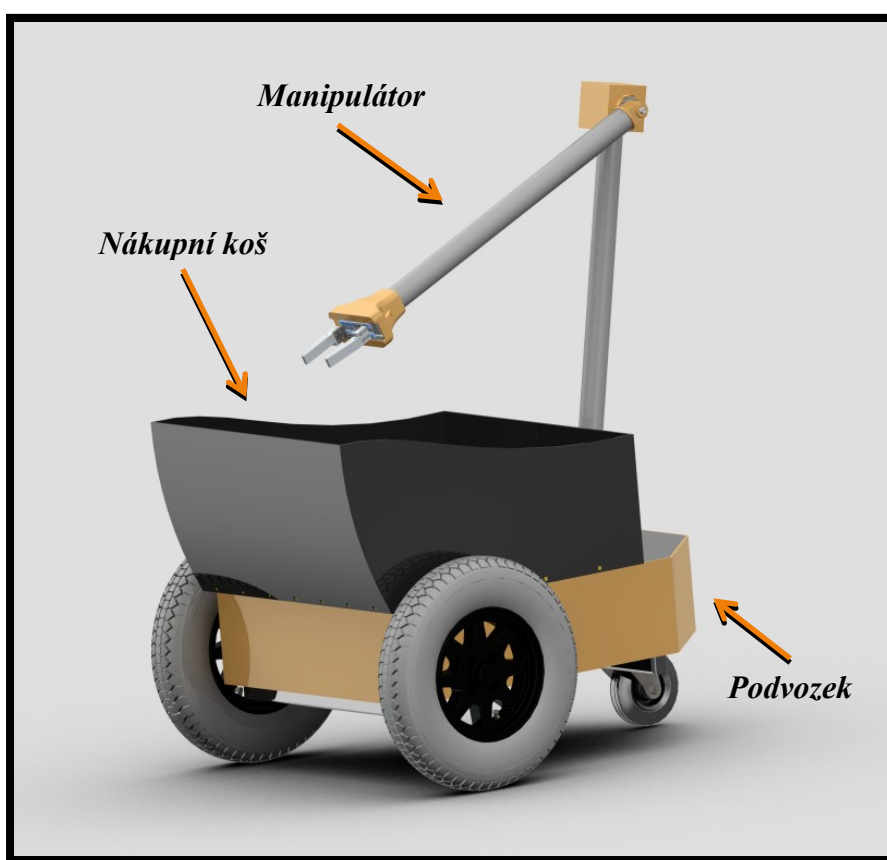
5.3. Varianta III

U třetí varianty jsou využity dva stejnosměrné pohony MOOG a úhlové planetové převodovky Apex Dynamix. Kombinace tohoto motoru a převodovky dává vozíku dostatečný výkon pro uvezení nákladu o celkové hmotnosti 50 kg. U této varianty je přední náprava poháněna a zadní kolo je volně otočné. Stejně jako u předchozí varianty je i u této varianty využíváno řízení smykem.

Díky tříkolovému podvozku jsou půdorysné rozměry tohoto vozíku nejmenší ze všech tří variant. Menší rozměry ovlivňují i velikost úložného prostoru, jehož obsah je „pouze“ 40 l.

Pro možnost dálkového ovládání z invalidního vozíku jsou na podvozku umístěny dvě kamery, třetí kamera je umístěna na konci manipulátoru. Díky těmto kamerám nemusí být vozičkář v přímém vizuálním kontaktu s nákupním vozíkem.

Manipulátor se třemi stupni volnosti je schopen bezpečně uzvednou zátěž až do hmotnosti 2 kg.



Obr. 13 - Varianta III

Základní parametry	
Varianta III	
Pohon	2x DC motor s převodovkou
Nosnost	50 kg
Výdrž akumulátoru	2 hodiny (na jedno nabití)
Maximální rychlost	5 km/hod
Objem košíku	40 l
Maximální půdorysné rozměry	680 x 850
Napájecí napětí	24 V
Další funkce	
Odolnost vůči prachu a vodě	
Možnost vyjetí na parkoviště (po rampě pro vozíčkáře)	
Manipulátor	
Počet stupňů volnosti	3
Nosnost	2 kg

Tabulka 4 - Parametry varianty III

6 Hodnotová analýza

Hodnotová analýza se používá k výběru optimální varianty. Tato analýza spočívá v porovnávání jednotlivých kritérií, viz tab. 5, která volíme na základě požadavkového listu.

6.1. Hodnocená kritéria

Označení kritéria	Název kritéria	Popis kritéria
1	Nosnost	Minimální nosnost 30 kg
2	Vydrž akumulátoru	Minimálně 1,5 hodiny na jedno nabití
3	Objem košíku	Velikost úložného prostoru vozíku, minimálně 40 l
4	Přídorysné rozměry	
5	Počet stupňů volnosti manipulátoru	3 - 5
6	Nosnost ramene	Minimální nosnost ramene 2 kg

Tabulka 5 - Kritéria

6.2. Hodnoty kritérii

Aby se dala posoudit úroveň daných kritérii, byla využita bodovací stupnice.

Úroveň kritéria	Počet bodů
Vysoká	6
Dobrá	5
Průměrná	4
Nízká	3
Nevyhovující	2
Nepříznivá	1

Tabulka 6 - Bodovací stupnice kritérii

6.3. Určení významnosti kritérii

Váha významností jednotlivých kritérií se určí metodou porovnávání v trojúhelníku párů, kdy se porovnávají vždy jen dvě kritéria. Druhý řádek v tab. 7 obsahuje první hodnotící kritérium. Toto kritérium se porovná s dalšími kritérii, které se nacházejí v řádku

pod ním. Tento postup se aplikuje i na další kritéria. Významnější kritérium je zvýrazněno tučně (počet voleb: 1). V případě, že dvě kritéria mají stejnou významnost, jsou obě zvýrazněny tučně (počet voleb: 0,5).

Trojúhelníková metoda porovnávání párů							
Porovnávané páry kritérií					Počet voleb	Pořadí	Váha významnosti
K1	K1	K1	K1	K1	3	2.	1,86
K2	K3	K4	K5	K6			
	K2	K2	K2	K2	2	5.	1,57
	K3	K4	K5	K6			
		K3	K3	K3	0,5	6.	1,14
		K4	K5	K6			
			K4	K4	2,5	4.	1,71
			K5	K6			
			K5		3,5	1.	2
			K6		3	3.	1,86

Tabulka 7 - Metoda porovnávání párů

6.4. Hodnocení jednotlivých variant

Na základě srovnání jednotlivých variant řešení, viz tabulka 8, byly jednotlivým variantám přiděleny body podle toho, jak splňují porovnávané kritérium.

Hodnocení jednotlivých kritérií variant												
	Kritérium 1		Kritérium 2		Kritérium 3		Kritérium 4		Kritérium 5		Kritérium 6	
	Nosnost		Vydrž akumul.		Objem košíku		Přodorysné rozměry		Počet stupňů volnosti		Nosnost ramene	
Varianta I	200 kg	6	1,5 hod	3	50 l	6	700x1100	4	4	5	3 kg	6
Varianta II	40 kg	4	2,5 hod	5	45 l	5	680x1000	5	5	6	2,5 kg	6
Varianta III	50 kg	5	2 hod	6	40 l	4	680x850	6	3	4	2 kg	4

Tabulka 8 - Hodnocení jednotlivých kritérií

6.5. Výpočet celkových indexů variant a výběr optimální varianty

Po přidělení bodů jednotlivým variantám byly tyto body vynásobeny vahou významnosti (určení vah významnosti pro jednotlivá kritéria, viz tab. 9) a byl proveden celkový součet vážených indexů, který určil optimální variantu.

Porovnání variant							
Kritérium	Váha významnosti	Varianta I		Varianta II		Varianta III	
		b	Vážený index	b	Vážený index	b	Vážený index
K1	1,86	6	11,16	4	7,44	5	9,3
K2	1,57	3	4,71	5	7,85	6	9,42
K3	1,14	6	6,84	5	5,7	4	4,56
K4	1,71	6	10,26	5	8,55	6	10,26
K5	2	4	8	5	10	4	12
K6	1,86	6	11,16	6	11,16	4	7,44
Celkový součet vážených indexů			50,03		51,14		46,01

Tabulka 9 - Výběr optimální varianty

6.6. Zhodnocení vybrané varianty

Z hodnotové analýzy vyšlo jako optimální řešení varianta II, která nabízí ideální poměr nosnosti a výdrže baterie. Díky použití čtyř nezávisle poháněných kol je možno při jízdě na prázdko využít pouze dvou pohonů a prodloužit tak výdrž baterií.

Tato varianta nabízí manipulátor s pěti stupni volnosti, což zajišťuje pohodlné uchopení zboží v každé poloze.

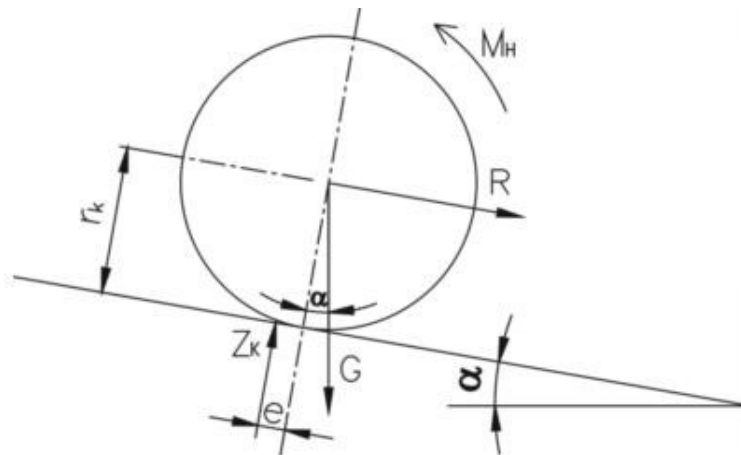
7 Návrh pohonu mobilního robotu

Následující kapitola se zabývá dimenzováním pohonu a na základě vypočtených hodnot potřebných k dodržení jízdních vlastností vozíku bude v následující kapitole navrhována pohonná jednotka.

7.1. Návrh pohonu

Při návrhu pohonů pro kolový podvozek servisních robotů se vychází z metodiky návrhu automobilů. V této kapitole pomocí tohoto výpočtu odvodíme potřebné parametry pro volbu motoru.

Z obrázku 14 můžeme vyjádřit obecnou pohybovou rovnici pro přímočarý pohyb, která vyjadřuje síly a momenty působící na poháněné kolo servisního robotu.



Obr. 14 - Síly a momenty působící na poháněné kolo

Rovnováha momentů působících na poháněné kole lze napsat ve tvaru:

(1)

Tuto rovnici můžeme rozepsat:

(2)

- kde
- je hnací moment působící na jedno kolo
 - je radiální reakce podlahy
 - je excentricita radiální reakce terénu
 - je součet všech jízdních odporů působících proti směru jízdy s výjimkou valivého odporu zahrnutého v členu
 - je valivý poloměr kola.

Převedením hnacího momentu na hnací sílu:

$$—, \quad \text{kde} \quad - \text{ je hnací síla} \quad (3)$$

Jízdní odpory

Síly působící proti pohybu servisního robotu. Výsledná hnací síla musí překonat součet těchto jízdních odporů:

- valivý odpor,
- vzdušný odpor,
- odpor stoupání,
- odpor zrychlení.

a) Valivý odpor

Tento odpor se vytváří při deformaci pneumatiky a terénu. Radiální reakce terénu Z_K je předložena před osu kolmou k terénu o excentricitu e . Je to zapříčiněno tím, že síly, které jsou potřebné na stlačení pneumatiky, jsou větší než síly, kterými se pneumatika vrací zpět do kruhového tvaru. Platí, že reakce Z_K má stejnou velikost jako zatížení kola.

Valivý odpor se vypočte vztahem:

$$—, \quad \text{kde} \quad - \text{ je součinitel valivého odporu kola.} \quad (4)$$

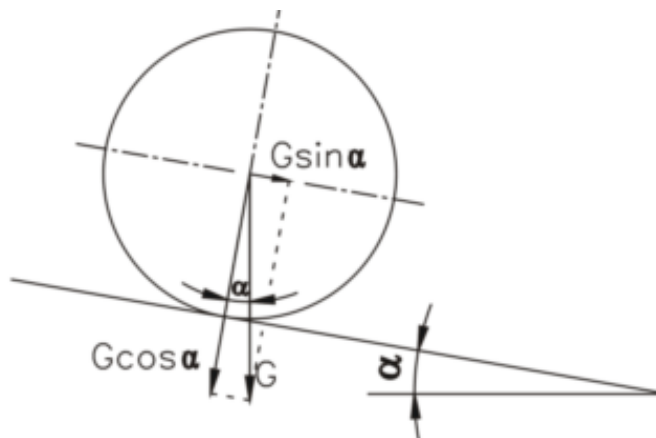
Součinitel valivého odporu závisí především na prostředí, ve kterém se servisní robot pohybuje, respektive na jeho povrchu. V tomto případě budeme uvažovat s klasickým betonovým povrchem, se kterým se můžeme setkat ve většině hypermarketů. Součinitel valivého odporu volím 0,015.

b) Vzdušný odpor

Protože servisní robot je navržen pro malé pohybové rychlosti (max. 6 km/h), můžeme tento jízdní odpor zanedbat.

c) Odpor stoupání

Odpor stoupání je dán složkou tíhové síly, která působí na kola servisního robotu ve směru rovnoběžném s nakloněnou rovinou, s úhlem stoupání α jak je vidět na obrázku 15.



Obr. 15 - Valivý odpor stoupání

(5)

- G - je celková tíha servisního robotu,
- je úhel sklonu povrchu.

d) Odpor zrychlení

V momentě, kdy začne servisní robot zrychlovat, působí proti směru zrychlení setrvačná síla (odpor zrychlení). V praxi se při výpočtu odporu zrychlení používá tento vztah:

(6)

- je součinitel vlivu rotačních částí zohledňující odpor rotujících součástí pohonu (pro tento případ byla zvolena hodnota 1,5).

Potřebná hnací síla

Při pohybu servisního robotu musí potřebná síla F_K překonat všechny jízdní odpory, které jsou popsány výše. Dosazením do vztahu (7) vztahy (4), (5), (6) obdržíme vztah pro potřebnou celkovou hnací sílu, kterou nezbytně potřebujeme pro návrh pohonů kolového servisního robotu:

(7)

Předpokládáme-li, že reakce Z_K je stejně velká jako zatížení kola, tak pro čtyřkolový podvozek je rozdělení hmotnosti servisního robotu m pro jednotlivá kola na nakloněné rovině s úhlem stoupání α dán vztahem:

(8)

Potřebná hnací síla na jednom hnacím kole

Tento robot disponuje čtyřmi koly, každé z nich je poháněné samostatným stejnosměrným motorem. Musí se tedy celková hnací síla F_K rovnoměrně rozdělit mezi tyto hnací kola. Pomocí vztahu (7) a (8) můžeme výslednou hnací sílu na jednom kole zapsat vztahem:

(9)

Výpočet potřebných parametrů na hnacím kole

Při návrhu potřebných parametrů hnacího kola musíme počítat s nejvíce nepříznivými podmínkami, se kterými se robot může setkat.

Potřebná hnací síla hnaného kola

Dosazením do rovnice (9) spočítáme hnací sílu na jedno kolo:

Potřebný výkon hnaného kola

Potřebný krouticí moment hnaného kola

Potřebné otáčky hnaného kola

8 Podvozek

8.1. Pohonná jednotka

Na základě výpočtů z kapitoly 7 byla navržena pohonná jednotka pro podvozek nákupního vozíku. Při výběru pohonu bylo nutné klást velký důraz mimo jiné i na cenu. Na základě toho byl zvolen DC motor 9DCP24-120-30 firmy DKM, která k tomuto motoru standardně nabízí i šnekovou převodovku. Výhodou použití šnekové převodovky je její samosvornost, díky které není nutné využívat brzdy. Tato pohonná jednotka je schopna vyvinout nominální moment 21 Nm při 60 ot/min.

Cena této pohonné jednotky nepřesáhne 5 000 Kč. Základní technické informace:

Motor DKM 9DCP24-120-30

Výkon:	120 W
Krouticí moment:	0,42 Nm
Maximální moment:	2,5 Nm
Nominální otáčky:	3050 ot/min ⁻¹
Napájení:	24 V
Hmotnost:	2 kg



Obr. 16 - DC motor DKM

Šneková převodovka DKM 9WHD10

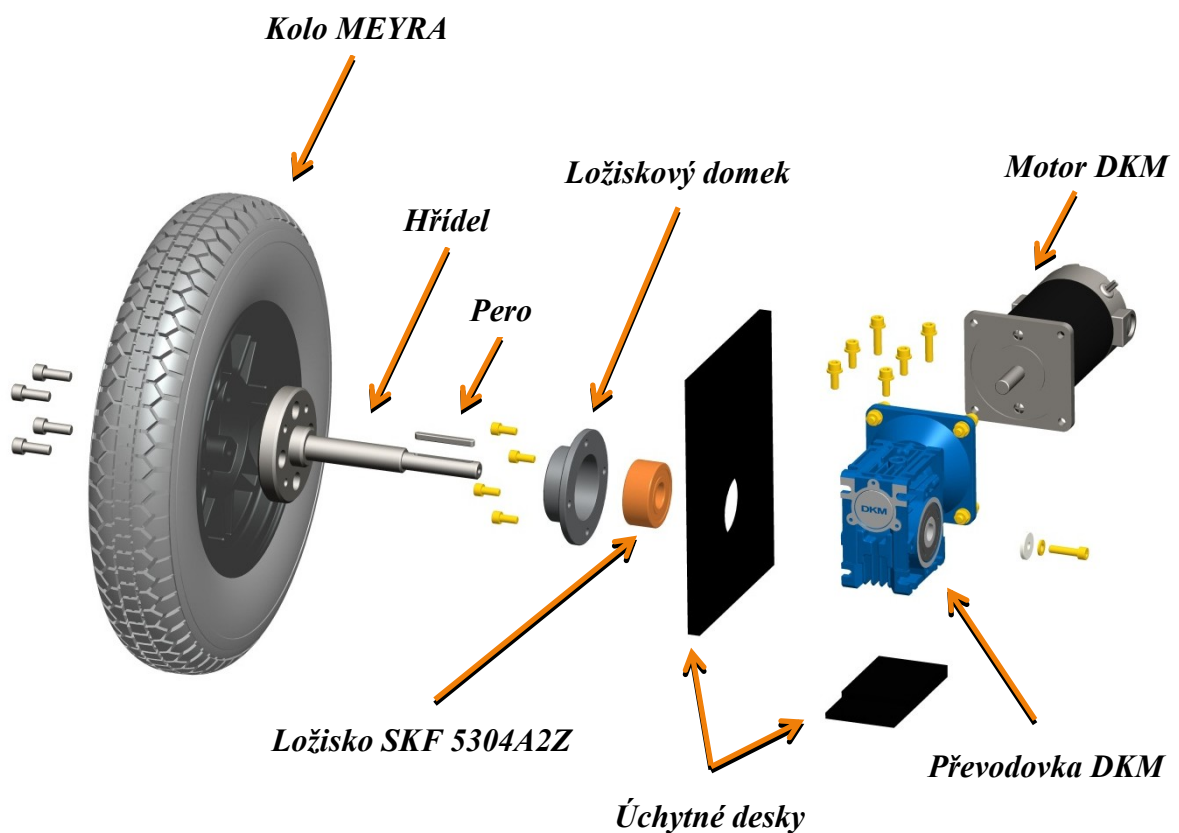
Převodový poměr:	50
Výstupní moment:	25 Nm
Hmotnost:	1 kg



Obr. 17 - Šneková převodovka DKM

8.2. Hnaná náprava

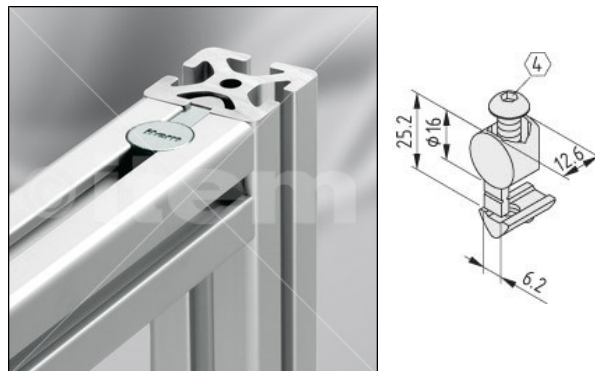
U tohoto podvozku jsou poháněna všechny čtyři kola. Základem každé nápravy je pohonná jednotka popisovaná v kapitole 8.1. Do šnekové převodovky, která je opatřena průchozí dírou se zasune hřídel s těsným perem. Na konci hřídele je závit M6 pro zajištění pohybu pomocí pojistné desky a šroubu. Druhý konec hřídele je opatřen přírubou, ke které se za pomoci čtyř imbusových šroubů přišroubuje kolo MEYRA. Hřídel je uložena ve dvouřadém kuličkovém ložisku s krytím SKF 5304A2Z. Ložisko je umístěno v ložiskovém domku, které se uchytlí na desku přišroubovanou k rámu podvozku. Řez hnanou nápravou – viz obrázek 37



Obr. 18 - Hnaná náprava

8.3. Rám

Rám podvozku je dimenzován na nosnost 200 kg. Je tvořen hliníkovými profily Item rozměru 30x30. Výrobce nabízí k profilům možnost rozebíratelného či nerozebíratelného spojení. Rám podvozku je smontován pomocí univerzálního spojení, které je vidět na obrázku 19. Pro uchycení dalších komponentů k rámu je využito drážkových matic M6.

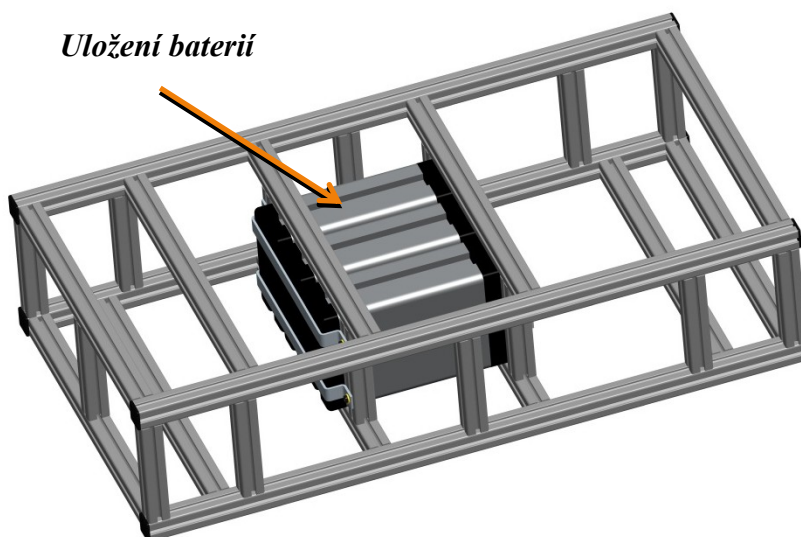


Obr. 19 - Spojení rámu podvozku

8.4. Akumulátor

Pro tento mobilní robot byl zvolen akumulátor typu LiFePO4 s napětím 24 V a kapacitou 30 Ah. Podvozek ponese tři tyto akumulátory, dva pro napájení motorů a jeden pro napájení ramene včetně efektoru. Umístění baterií je vidět na obrázku 20.

Pro napájení kamer a komponent řízení je možno na podvozek umístit další baterii.



Obr. 20 - Rám podvozku

8.5. Výpočet přibližné doby provozu

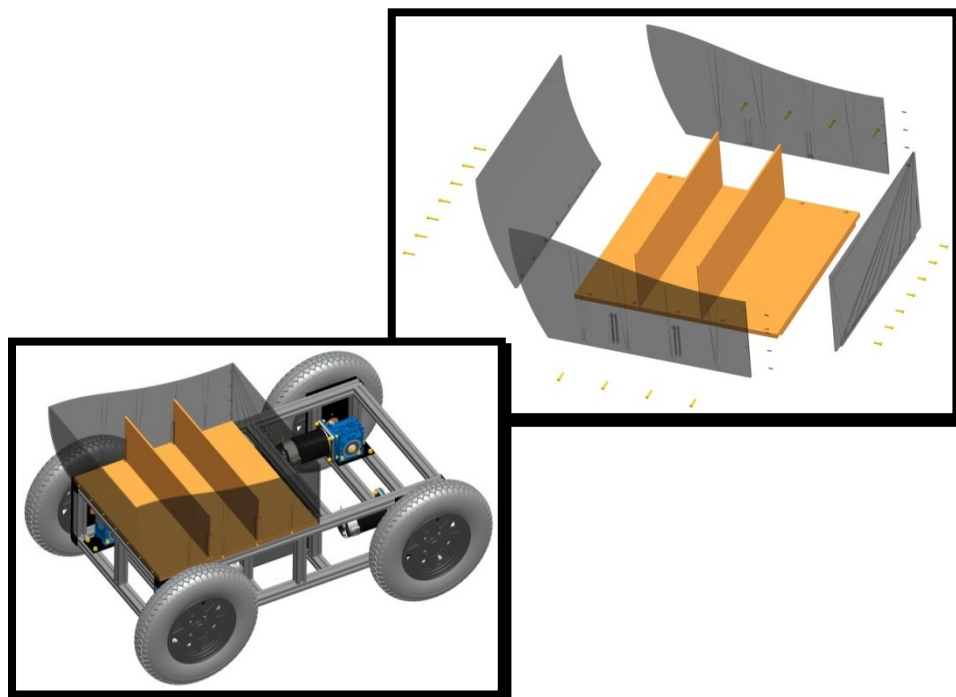
Pro výpočet přibližné doby provozu nákupního košíku si určíme, že každá z baterií bude napájet dva motory. Při odběru proudu jednoho motoru $I_M = 7,2 \text{ A}$ a kapacitě jedné baterie $K_A = 30 \text{ Ah}$ můžeme následně vypočítat přibližnou dobu provozu:

Přibližná doba provozu vyšla na 2 hodiny. Výsledná doba provozu se může od vypočtené hodnoty lišit. Při výpočtu bylo uvažováno zapojení všech čtyř pohonů. Ve skutečnosti bude možno při jízdě na prázdko využít pouze dva pohony a dobu provozu tím výrazně prodloužit.

8.6. Nákupní košík

Dvě třetiny podvozku zabírá nákupní košík o objemu 45 l. Jedná se o montovaný pětidílný košík vyrobený z plastu a vybavený dvěma přepážkami, zabraňující pohybu nákupu během rozjezdu a brždění.

Košík je usazen mezi hliníkové profily Item a připevněn pomocí šroubů M6 a drážkové matice, díky čemuž je zajištěno přesné a stabilní uchycení celého košíku.



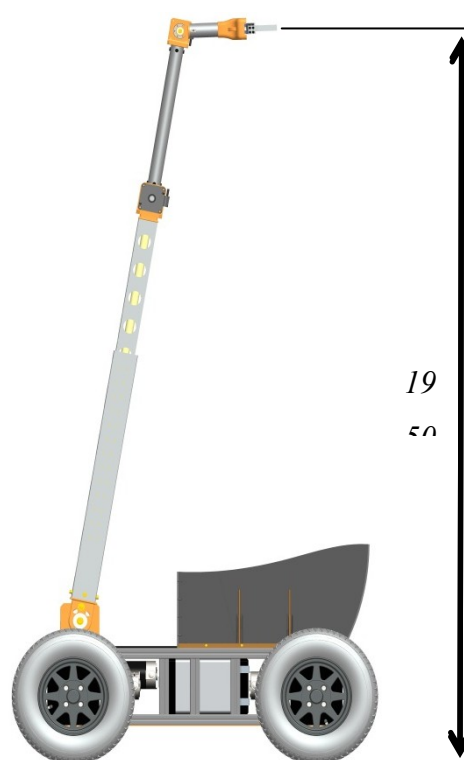
Obr. 21 - Rozložený košík + pohled na podvozek s košíkem

9 Manipulátor - popis

Pro možnost nákupu zboží z horních polic regálu, ke kterým nemá osoba upoutaná na invalidní vozík bez cizí pomoci takřka žádný přístup, je nákupní vozík vybaven manipulátorem s pěti stupni volnosti. Z toho 4 stupně volnosti připadají na samotný manipulátor a poslední stupeň volnosti zajišťuje orientační ústrojí.

Manipulátor je poháněný motory DKM a planetovými převodovkami Apex Dynamix. Pohyb orientačního ústrojí realizuje kompaktní pohon Harmonic drive, který byl zvolen pro jeho vynikající poměr výkonu a hmotnosti. Technické parametry jednotlivých pohonů jsou uvedeny v kapitole 10.

Základní parametry manipulátoru jsou uvedeny v tabulce 10.



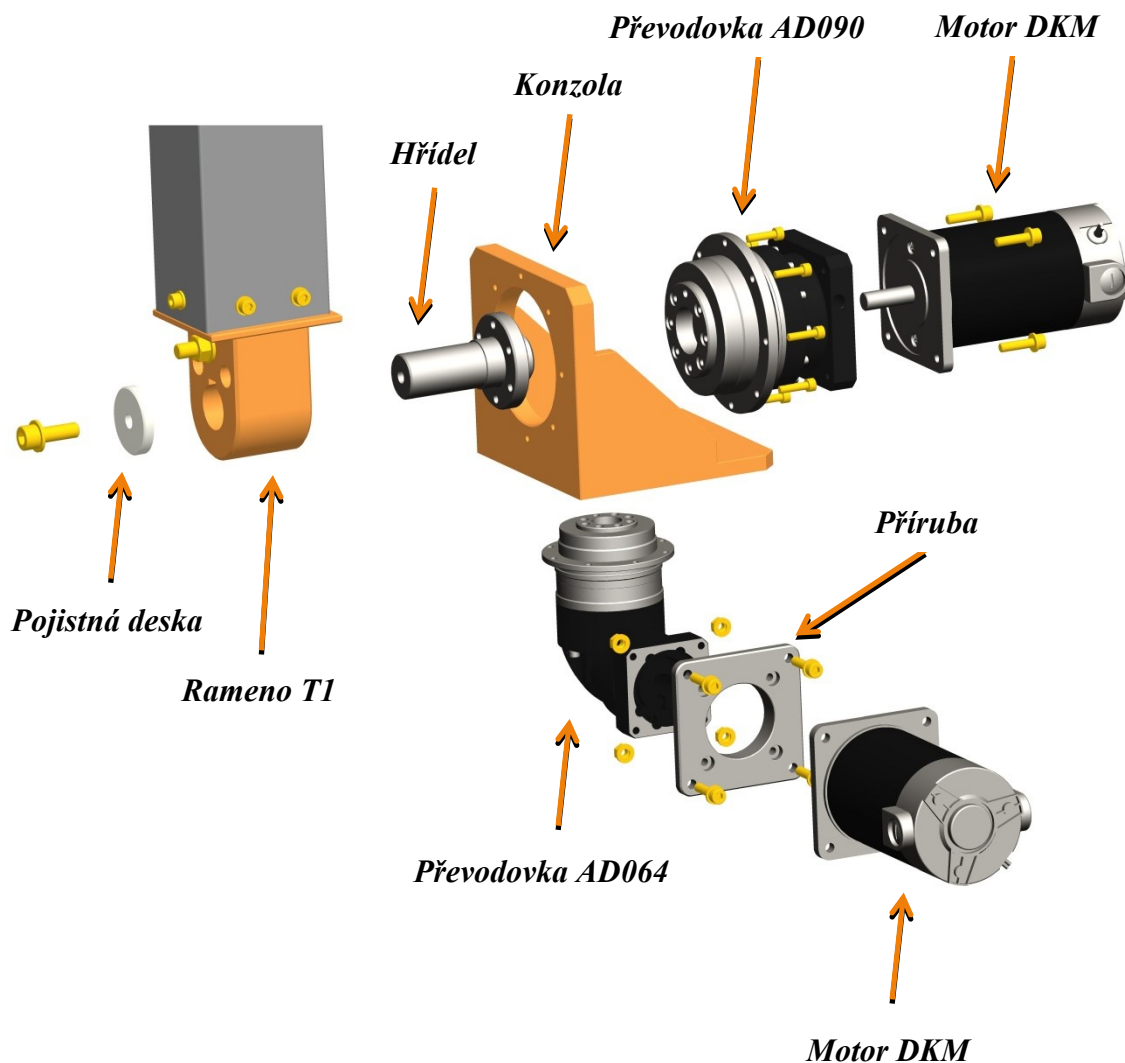
Obr. 22 - Dosah manipulátoru

Parametry manipulátoru	
Nosnost (při maximálním vysunutí ramene)	2,5 kg
Počet stupňů volnosti	5
Maximální dosah ramene od země	1950 mm
Maximální celková spotřeba ramene	20 A
Úhlová rychlost těžiště OM	0,5 rads^{-1}
Hmotnost	23,5 kg

Tabulka 10 - Základní parametry manipulátoru

9.1. Popis prvního a druhého kloubu

Pohonná jednotka prvního kloubu se skládá z motoru DKM 9DCP24-120-30 a úhlové planetové převodovky Apex Dynamix ADR064 a je umístěna v zadní části vozíku. Na koncovou přírubu této jednotky je našroubována konzola, která slouží pro uchycení pohonu druhého kloubu. K tomuto pohonu je našroubována hřídel s perem, na kterou se nasouvá teleskopické rameno, viz kapitola 9.2. Toto rameno je zajištěno proti posunutí pojistnou deskou a šroubem - viz obr. 23.



Obr. 23 - První a druhý rotační kloub

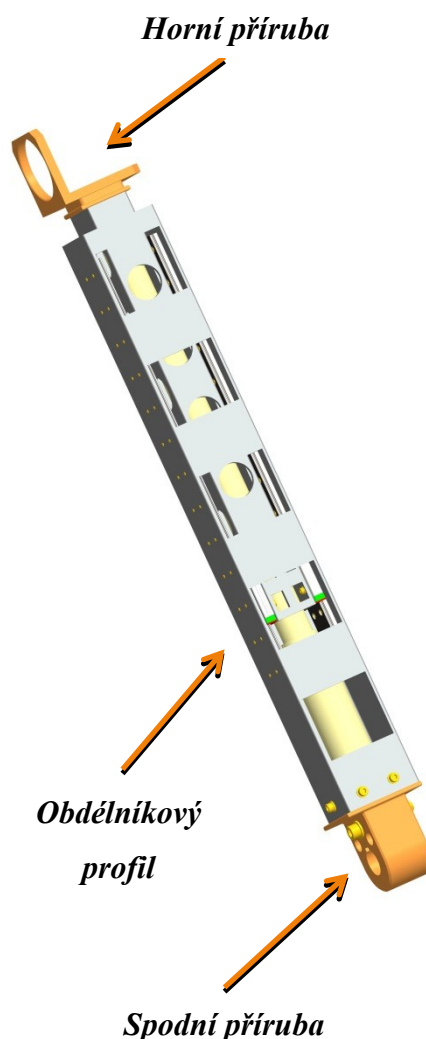
9.2. Teleskopické rameno T1

Základem tohoto ramena je lineární DC aktuátor L02 firmy MecVel s trapézovým šroubem a zdvihem 300 mm. Trapézový šroub činí aktuátor samosvorným, a proto není

potřeba použití brzdy. Maximální síla, kterou je schopen tento aktuátor vyvinout je 280 N. Další informace - viz tabulka 11.

Celý mechanismus je uložen v obdélníkovém profilu z tvrdého hliníku, na který jsou přišroubovány dvě kolejnice HIWIN MGWR o délce 520 mm. Do tohoto profilu je vložen hliníkový U – profil, na jehož konci jsou uchyceny dva vozíky MGW, které zachycují klopné momenty, vznikající při výsuvu ramene. Ke konci U – profilu je našroubována speciálně navržená příruba, ke které je přichycen trapézový šroub lineárního aktuátoru (viz obr. 26). Na tuto přírubu je dále přišroubována pohonná jednotka pro další rameno.

Na jednom konci obdélníkové profilu je přišroubovaná kluzná bronzová destička, o kterou se opírá výsuvný U profil. Z druhé strany tohoto profilu je k přimontované přírubě přichycen aktuátor.

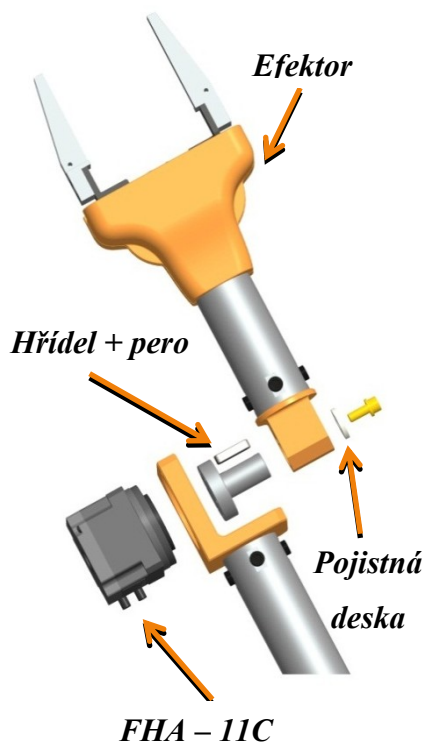


Obr. 24 - Translační rameno T1

Parametry lineárního aktuátoru L02	
Maximální síla	280 N
Zdvih	300 mm
Napájení	24 V
Maximální rychlost	100 mm/s
Krytí	IP 65
Pracovní teplota	-10°C + 60°C

Tabulka 11 - Parametry lineárního aktuátoru L02

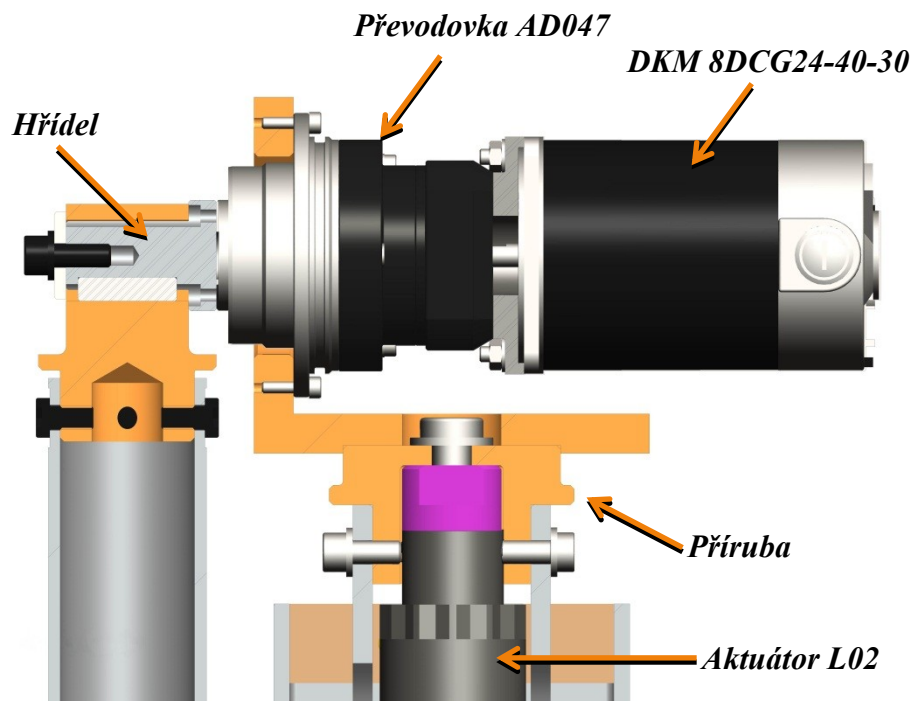
9.3. Popis třetího kloubu a orientačního ústrojí



Na horní přírubě teleskopického ramene je umístěna pohonná jednotka pro třetí kloub manipulátoru. Tato jednotka se skládá z pohonu DKM 8DCG24-40-30 a převodovky Apex Dynamix AD047. Parametry pohonu - viz kapitola 10.2. Na výstupní přírubě převodovky je uchycena hřídel, na kterou je nasazeno rameno. Toto rameno tvoří hliníková trubka o průměru 40 mm a tloušťky stěny 4 mm. Konec tohoto ramene je opatřen konzolou uzpůsobenou k uchycení pohonné jednotky pro orientační ústrojí.

Orientační ústrojí umožňuje rotaci kolem osy x a díky toho je dosaženo lepší uchopení zboží. Rameno efektoru je opatřeno přírubou, která se nasune na hřídel pohonu a zajistí pojistnou deskou (obr. 25).

Obr. 25 - Poslední člen manipulátoru



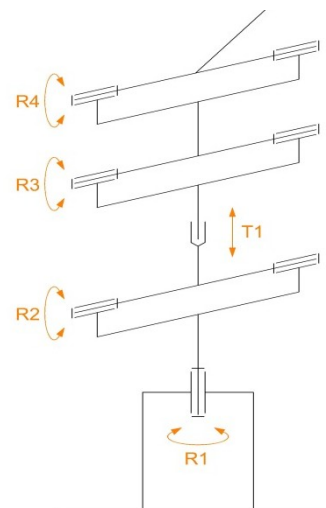
Obr. 26 - Řez třetího kloubu manipulátoru

10 Manipulátor – návrh pohonu

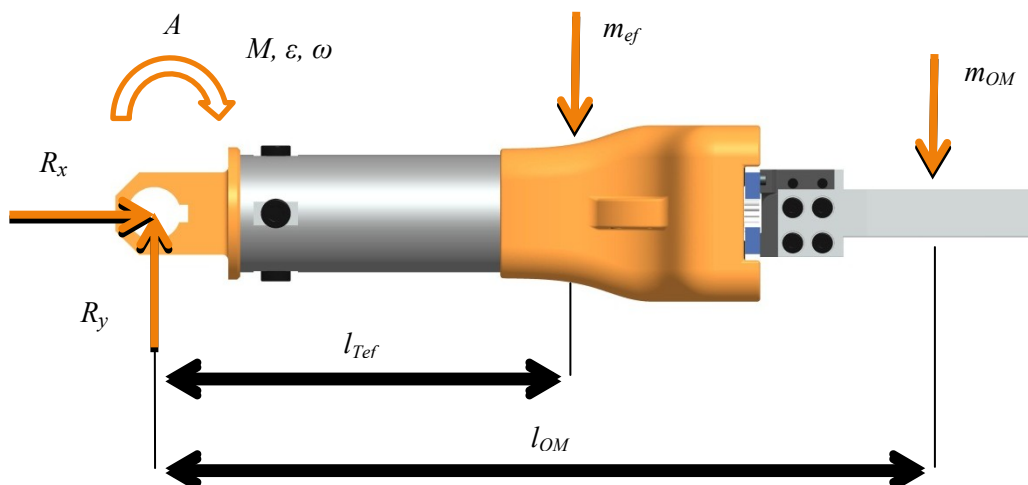
Kinematická struktura manipulátoru je znázorněna na obrázku 26.

10.1. Návrh pohonu pro rotační vazbu R4

Návrh pohonu bude vycházet ze silového rozboru posledního článku manipulátoru obr. 27.



Obr. 27 - Kinematická struktura manipulátoru



Obr. 28 - Silový rozbor

Hodnoty pro výpočet	
Hmotnost efektoru	$m_{ef} = 1,23 \text{ kg}$
Hmotnost OM	$m_{OM} = 2,5 \text{ kg}$
Vzdálenost těžiště ef.	$l_{Tef} = 128,4 \text{ mm}$
Vzdálenost těžiště ef. S OM	$l_{OM} = 206,5 \text{ mm}$
Zrychlení efektoru	$a = 1,5 \text{ ms}^{-2}$
Úhlová rychlost efektoru	$\omega = 0,5 \text{ rads}^{-1}$
Moment setrvačnosti efektoru s OM	$I_4 = 0,223 \text{ kgm}^2$

Tabulka 12 – Hodnoty pro výpočet

Reakce v bodě A

Otáčky efektoru

Statický moment k bodu A

Dynamický moment k bodu A

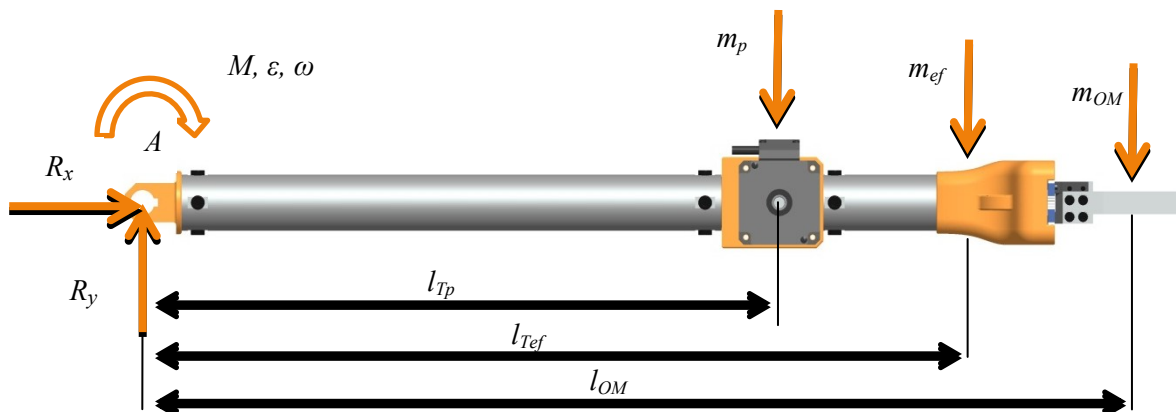
Celkový moment

Na základě těchto výpočtů byl navrhnut pohon Harmonic Drive FHA-11C, který splňuje požadavky na potřebný krouticí moment M . Součástí pohonu je harmonická převodovka o převodovém poměru $i_p = 100$ s přípustným krouticím momentem 11 Nm, jehož parametry jsou v tabulce 13.

Parametry pohonu FHA – 11C	
Nominální krouticí moment	4,2 Nm
Maximální krouticí moment	11 Nm
Nominální otáčky	35 ot/min ⁻¹
Maximální otáčky	60 ot/min ⁻¹
Napájení	24 V
Hmotnost	0,62 kg

Tabulka 13 - Parametry pohonu FHA - 11C - 100

10.2. Návrh pohonu pro rotační vazbu R3



Obr. 29 - Silový rozbor ramene

Hodnoty pro výpočet	
Hmotnost efektoru	$m_{ef} = 1,23 \text{ kg}$
Hmotnost OM	$m_{OM} = 2,5 \text{ kg}$
Hmotnost pohonu	$m_{p1} = 0,62 \text{ kg}$
Vzdálenost těžiště ef.	$l_{Tef} = 580,4 \text{ mm}$
Vzdálenost těžiště ef. S OM	$l_{OM} = 658,5 \text{ mm}$
Vzdálenost těžiště ramene	$l_{Tp} = 452 \text{ mm}$
Zrychlení ramene	$a = 1,5 \text{ ms}^{-2}$
Úhlová rychlost ramene	$\omega = 0,5 \text{ rads}^{-1}$
Moment setrvačnosti ramene s OM	$I_3 = 0,813 \text{ kgm}^2$

Tabulka 14 - Hodnoty pro výpočet

Reakce v bodě A

Otáčky efektoru

Statický moment k bodu ADynamický moment k bodu A

— —

Celkový moment

Pro toto rameno byl vybrán motor DKM 8DCG24-40-30 s krouticím momentem 0,13 Nm a převodovka Apex Dynamix AD047 s převodovým poměrem 100:1 a nominálním výstupním momentem 14 Nm. V následujících tabulkách jsou uvedeny základní parametry navrženého motoru a převodovky.

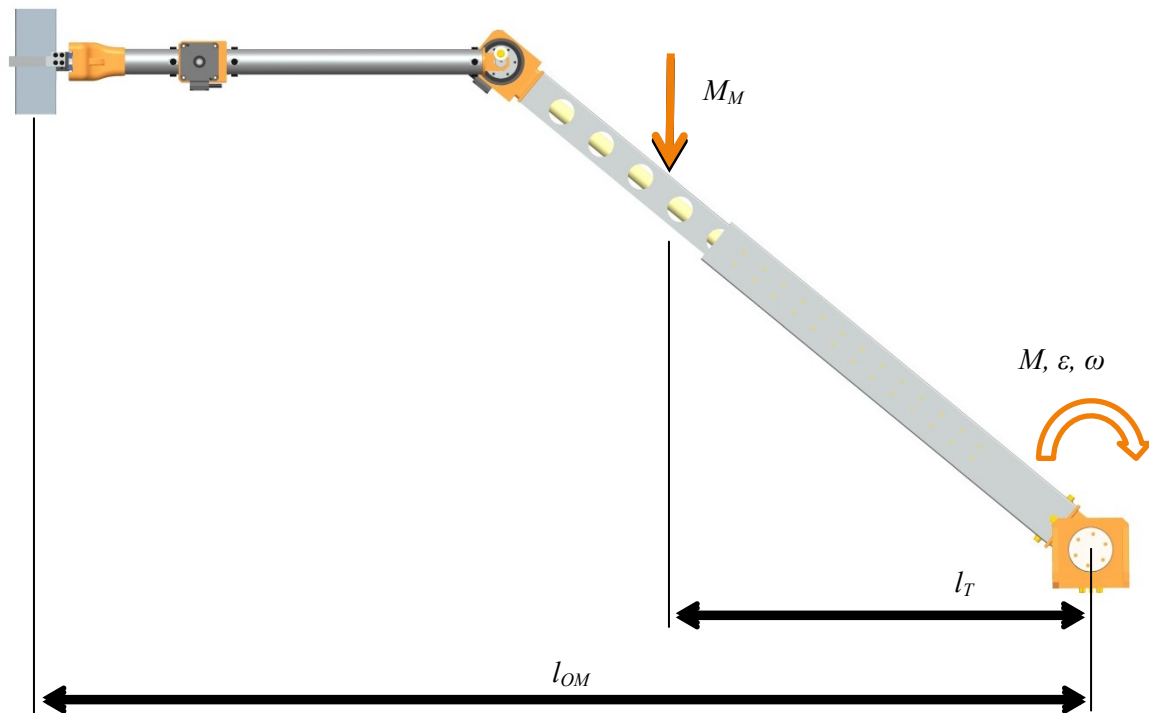
Parametry motoru DKM	
Nominální výstupní moment	0,13 Nm
Maximální moment	2 Mm
Výstupní otáčky	3150 ot/min ⁻¹
Napájení	24 V
Výkon motoru	40 W
Hmotnost	1 kg

Tabulka 15 - Parametry motoru DKM

Parametry převodovky AD047	
Převodový poměr	100
Nominální výstupní moment	14 Nm
Maximální výstupní moment	42,5 Mm
Vstupní otáčky	5000 ot/min ⁻¹
Účinnost	≥94 %
Hmotnost	1 kg

Tabulka 16 – Parametry převodovky AD047

10.3. Návrh pohonu pro rotační vazbu R2



Obr. 30 - Silové rozbor ramene

Hodnoty pro výpočet	
Hmotnost manipulátoru	$m_M = 23,5 \text{ kg}$
Vzdálenost těžiště manipulátoru	$l_T = 662 \text{ mm}$
Vzdálenost těžiště ef. s OM	$l_{OM} = 1573 \text{ mm}$
Zrychlení ramene	$a = 1,5 \text{ ms}^{-2}$
Úhlová rychlost ramene	$\omega = 0,5 \text{ rads}^{-1}$
Moment setrvačnosti manipulátoru	$I_2 = 25,07 \text{ kgm}^2$

Tabulka 17 - Hodnoty pro výpočet

Moment nevyvážených hmot ramene

Otáčky ramene

Dynamický moment ramene

— —

Celkový moment

Jako základ pohonné jednotky pro rotaci R2 byl zvolen motor DKM 9DCP24-120-30, který byl použit již pro pohon podvozku. Parametry pohonu viz kapitola 8. K tomuto motoru byla vybrána planetová převodovka Apex Dynamix AD090. Tato kombinace dovoluje maximální moment 250 Nm, což pokryje potřebný moment zjištěný výpočtem. Tento moment bude působit krátkodobě a to při zrychlení a brždění manipulátoru.

Parametry převodovky AD090	
Převodový poměr	100
Nominální výstupní moment	100 Nm
Maximální výstupní moment	235 Nm
Vstupní otáčky	5000 ot/min ⁻¹
Účinnost	≥94 %
Hmotnost	3 kg

Tabulka 18 - Parametry převodovky AD090

10.1. Návrh pohonu pro rotační vazbu R1

Dynamický moment ramene

Hodnoty pro výpočet	
Hmotnost manipulátoru	$m_M = 23,5 \text{ kg}$
Vzdálenost těžiště ef. s OM	$l_{OM} = 1573 \text{ mm}$
Zrychlení ramene	$a = 1,5 \text{ ms}^{-2}$
Úhlová rychlost ramene	$\omega = 0,5 \text{ rads}^{-1}$
Moment setrvačnosti manipulátoru	$I_1 = 26,23 \text{ kgm}^2$

Tabulka 19 - Hodnoty pro výpočet

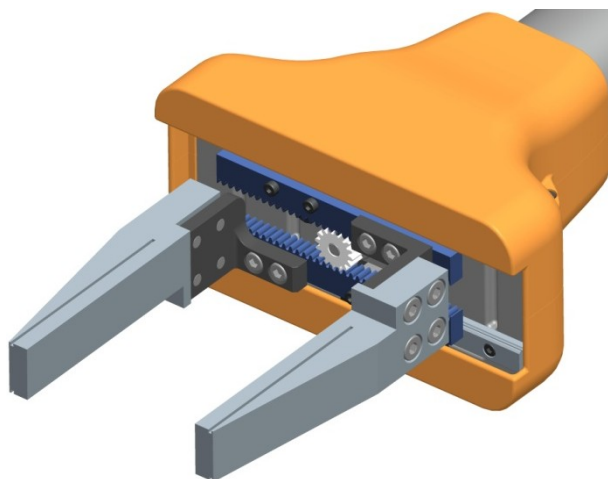
Stejně jako pro předchozí kloub je i pro tento použit stejnosměrný motor DKM 9DCP24-120-30. Parametry motoru viz kapitola 8. K motoru je přes přírubu připojená planetová úhlová převodovka APEX Dynamix ADR 064. Parametry převodovky jsou uvedeny v tabulce 20.

Parametry planetové převodovky ADR 064	
Převodový poměr	100
Nominální výstupní moment	45 Nm
Maximální moment	125 Nm
Nominální vstupní otáčky	5000 ot/min ⁻¹
Maximální vstupní otáčky	10000 ot/min ⁻¹
Účinnost	≥92 %
Hmotnost	1,9 kg
Pracovní teplota	-10°C + 90°C

Tabulka 20 - Parametry převodovky ADR 064

11 Efektor

Jedná se o dvoučelistový efektor zpracovávaný v rámci mé bakalářské práce. Efektor byl upraven tak, aby vyhovoval požadavkům pro nákupní košík. Základem efektoru je motor MAXON EC max 30 a planetová převodovka MAXON GP 32 HP. Parametry pohonu (viz. Tabulka 21) zaručují bezpečné uchopení předmětu do hmotnosti 2,5 kg.

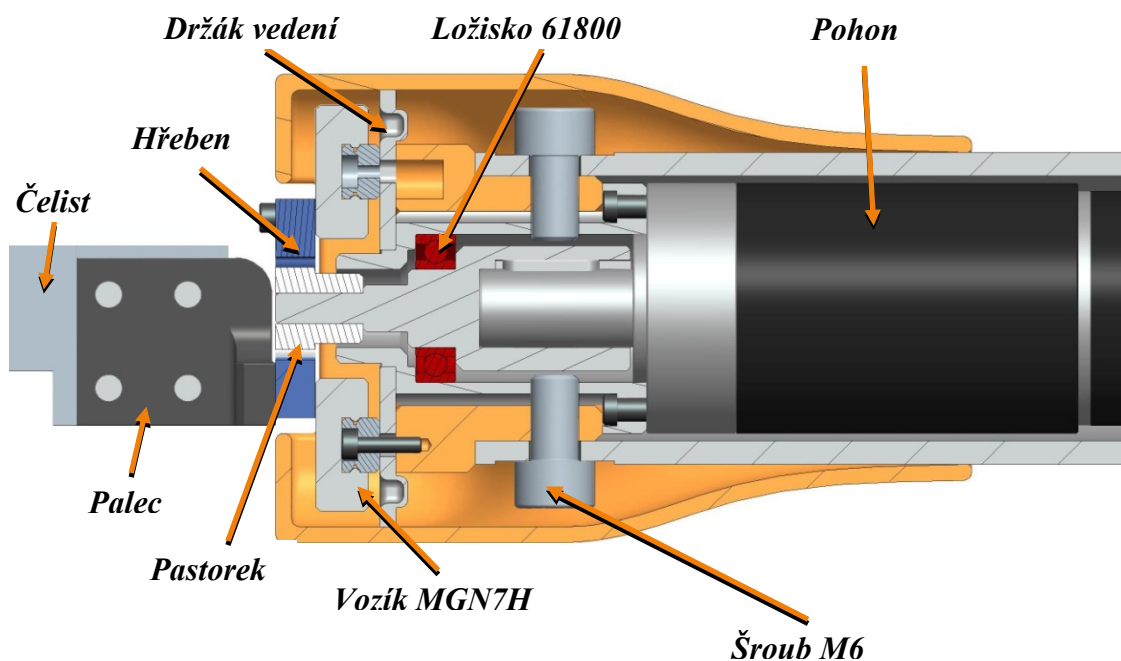


Obr. 31 - Efektor

Motor s převodovkou jsou umístěny uvnitř ramene robotu. Transformační ústrojí se skládá z ozubeného pastorku a dvou proti sobě zabírajících ozubených hřebenů. Zajištění přesného pohybu ozubených hřebenů obstarává lineární vedení firmy T.E.A. technik.

Kryt se skládá ze dvou částí. Při volbě dělicí roviny byl brán ohled na jednoduchou montáž.

Kryt a čelisti jsou navrženy tak, aby byla možná výroba těchto částí na 3D – tiskárně, díky čemuž jsou sníženy výrobní náklady těchto částí. Základní parametry efektoru jsou uvedeny v tabulce 22.



Obr. 32 - Řez efektozem

Motor	
EC-max 30 (272769)	
Výkon	30 W
Krouticí moment	0,0328 Nm
Maximální moment	0,154 Nm
Nominální otáčky	9140 ot/min ⁻¹
Maximální otáčky	15 000 ot/min ⁻¹
Napájení	24 V
Hmotnost	163 g
Převodovka	
Planetary Gearhead GP 32 HP	
Převodový poměr	411
Maximální vstupní otáčky	8000 ot/min ⁻¹
Maximální moment	6 Mm
Účinnost	60 %
Hmotnost	249 g

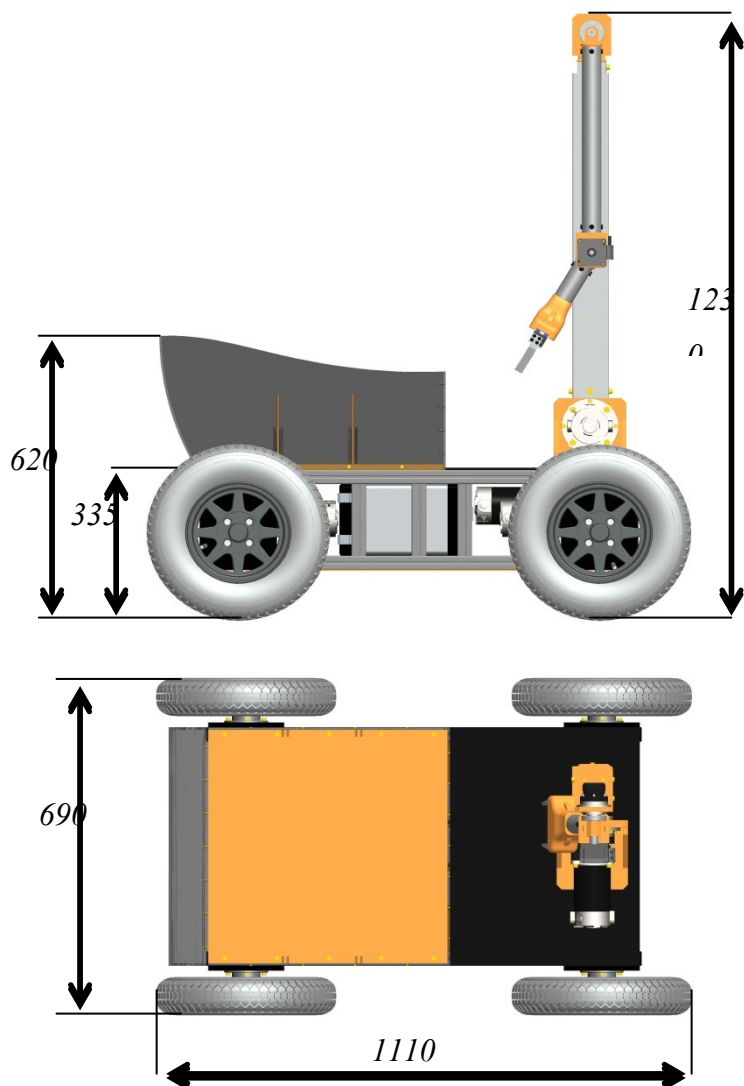
Tabulka 21 - Parametry pohonu

Parametry efektoru	
Rozsah rozevření čelistí	0 - 120 mm
Nosnost	2,5 kg
Hmotnost	950 g
Síla na čelistech	370 N
Poloha těžiště od interface	50 mm
Rychlost pohybu hřebenů	0,2 m/s

Tabulka 22 - Parametry efektoru

12 Základní parametry nákupního vozíku

Základní rozměry a parametry vozíku viz tabulka 23 a obr. 33.



Obr. 33 - Rozměry vozíku

Základní parametry vozíku	
Nosnost	30 kg
Objem košíku	45 l
Výdrž akumulátoru	2 h
Maximální rychlost	5 km/hod
Rozměry (š x h x v)	690 x 1110 x 1230 mm
Hmotnost vč. manipulátoru	105 kg

Tabulka 23 - Základní parametry vozíku

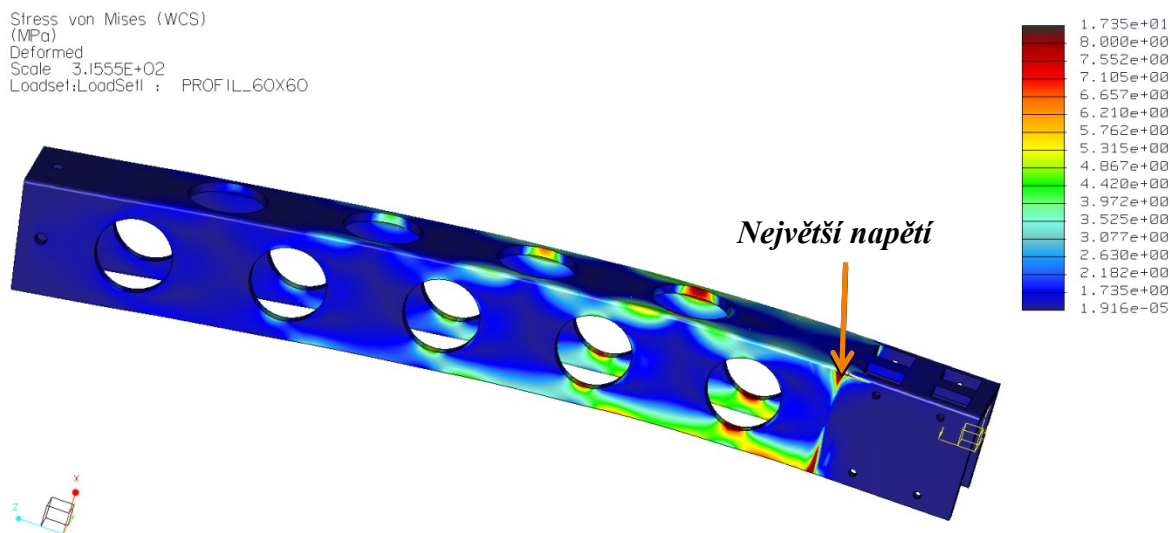
13 Kontrola ramen manipulátoru

Aby bylo možné zajistit bezpečný a spolehlivý provoz manipulátoru je potřeba provést pevnostní analýzy nejvíce namáhaného ramene. K tomuto účelu slouží modul Pro/MECHANICA Structure, který využívá moderní trendy ve výpočtech namáhaných strojních součástí.

U tohoto manipulátoru není požadována opakovatelná přesnost polohování, jelikož je dálkově řízen osobou na invalidním vozíku, z toho důvodu je možno připustit větší průhyb ramene (do hodnoty 1 mm).

Na obrázku 34 je zobrazena statická analýza napětí teleskopického ramene, které bude při maximálním výsuvu nejvíce namáhané.

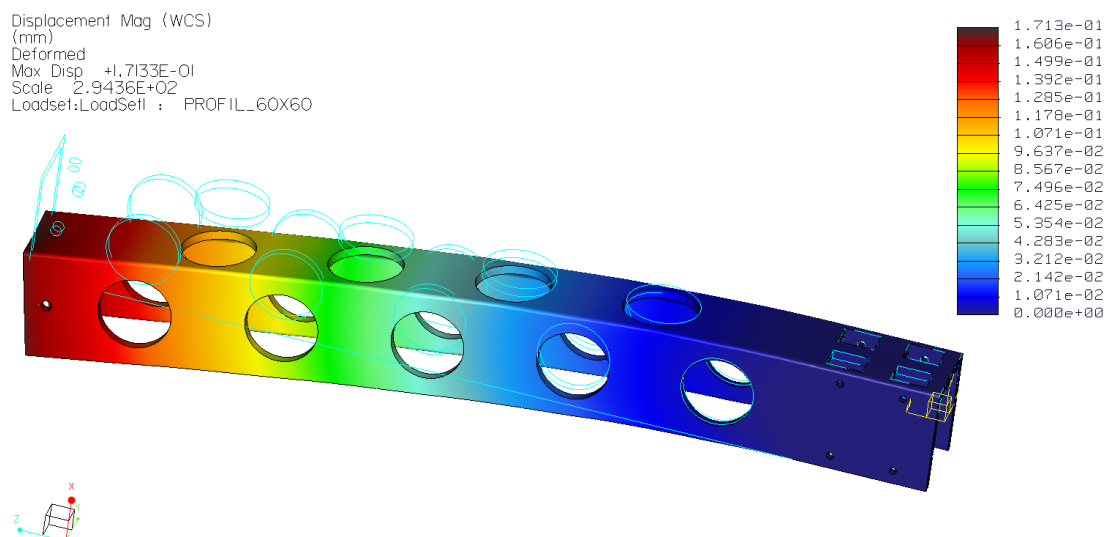
Nejvyšší napětí vyšlo v této analýze 16,3 MPa a to v oblasti uchycení ramene na lineární vozík HIWIN. Základem tohoto ramene je hliníkový profil z katalogu Ferona a.s., kde je uveden materiál pro tento profil EN AW-6060 T66, který má pevnost v tahu $R_m = 220$ MPa. Dovolené napětí slitiny hliníku pro míjivé zatížení v ohybu se pohybuje v rozmezí $50 \div 70$ MPa. Rameno tedy vyhovuje pro bezpečný provoz manipulátoru.



Obr. 34 - Pevnostní analýza

Dále bylo nutné ověřit rameno na maximální průhyb při maximálním výsuvu ramene. Profil byl zatížen silou odpovídající zátěži posledních dvou kloubů manipulátoru včetně objektu manipulace. Síla byla stanovena na 80 N.

Maximální hodnota průhybu ramene dosáhne 0,17 mm, což je pro tuto aplikaci vyhovující.



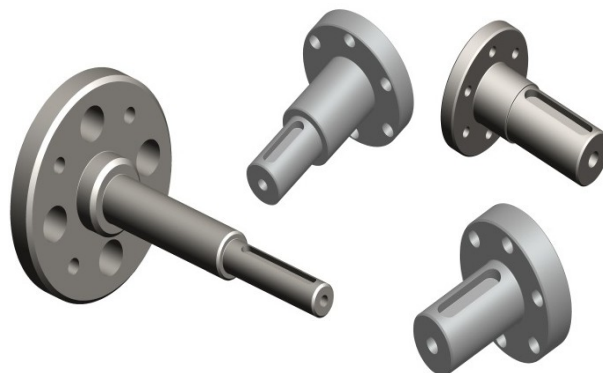
Obr. 35 - Průhyb ramene

14 Kontrolní výpočty ostatních namáhaných částí

Pro zajištění bezpečného provozu nákupního košíku je nutné provést kromě kontroly ramen i kontrolu namáhaných částí jako jsou hřídele, pera, ložiska...

14.1. Kontrola hřídolí

Kontrolní výpočty nejvíce namáhaných hřídolí byly provedeny v programu MITCalc a jsou uvedeny v příloze [2]. Z výpočtů vyplývá, že navržené hřídele splňují podmínky pro bezpečný provoz vozíku.

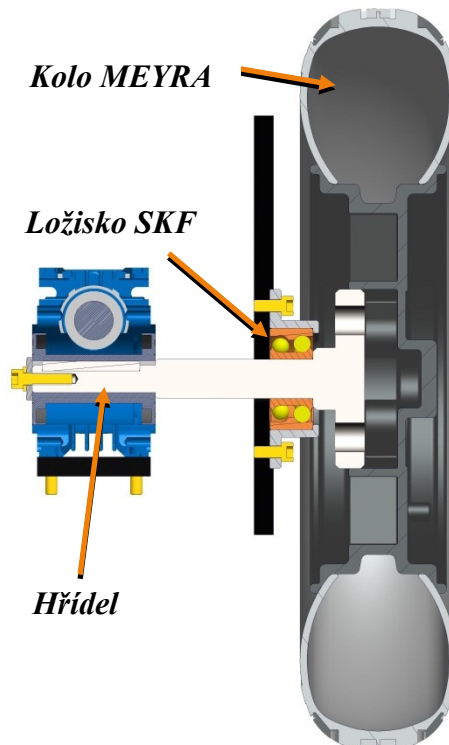


Obr. 36 - Kontrolované hřídele

14.2. Kontrola per

Spojení hřídele hnacího kola se šnekovou převodovkou DKM zajišťuje pero těsné o rozměrech 5 x 5 x 50 mm. V programu MITCalc je proveden kontrolní výpočet, zda dané pero vyhovuje.

Stejně tak pera zajišťující spojení hřídele s jednotlivými rameny manipulátoru byla podrobena kontrolním výpočtům. Celé výpočty jsou v příloze [1].

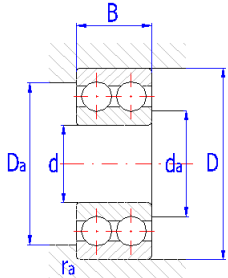


Obr. 37 - Řez hnanou nápravou

14.3. Kontrola ložiska SKF 5304A2Z

Hřídel spojující hnané kolo s pohonnou jednotkou je uložena v dvouřadém kuličkovém ložisku SKF 5304A2Z viz obrázek 37. Základní parametry ložiska jsou uvedeny v tabulce 24. Kontrolní výpočet z programu MITCalc je součástí přílohy [3].

Parametry ložiska			
Ložisko 61800			
Základní rozměry	$d = 20 \text{ mm}$	$D = 52 \text{ mm}$	$B = 21 \text{ mm}$
Základní trvanlivost	329 737 hod		
Součinitel statické bezpečnosti	14,15		



Tabulka 24 - Parametry ložiska

Navržené dvouřadá ložisko vyhovuje.

15 Ekonomické zhodnocení

Tato kapitola se zabývá výpočtem nákladů, které by byly potřeba na výrobu prototypu tohoto motorizovaného nákupního vozíku.

Podvozek				
Položka	Komponent	Počet	Kč / kus	Cena
1	Motor DKM 9DCK24-120-30	4	2 308,-	9 232,-
2	Převodovka DKM 9WHD50	4	2 854,-	11 416,-
3	Baterie LifePo4 24V 30Ah	3	2 880,-	8 640,-
4	Kolo Meyra	4	2 200,-	8 800,-
5	Ložisko SKF 5304A2Z	4	756,-	3 024,-
6	Alvaris Al profily	11	258,-	2 838,-
7	Hřídel	4	1 250,-	5 000,-
8	Ložiskový domek	4	820	3 280,-
9	Pojistná deska	4	70,-	280,-
10	Uchycovací deska	4	350,-	1 400,-
11	Nákupní koš	1	2 850,-	2 850,-
12	Spojovací materiál	1	950,-	950,-
13	Krytování	1	1 850,-	1 850,-
14	Kamera	2		
Celková cena				57 710,-

Tabulka 25 - Cenová kalkulace podvozku

Cena položek [1-6], [8], [12] je stanovena na základě cenové nabídky prodejců těchto komponentů. Ostatní ceny jsou odhady na základě porovnání cen podobných produktů.

Manipulátor				
Položka	Komponent	Počet	Kč / kus	Cena
1	Motor DKM 9DCK24-120-30	2	2 308,-	4 616,-
2	Motor DKM 8DCG24-40-30	1	1 850,-	1 850,-
3	Převodovka ADR064	1	33 452,-	33 452,-
4	Převodovka AD047	1	21 251,-	21 251,-
5	Převodovka AD090	1	28 525,-	28 525,-
6	Pohon FHA -11C	1	28 825,-	28 825,-
7	Aktuátor L02	1	5 256,-	5 256,-
8	Lineární vozík MGW	2	752,-	1 504,-
9	Kolejnice MGWR	2	509,-	1 018,-
10	Příruba kruhová	2	854,-	1 708,-
11	Příruba hranatá	1	932,-	932,-
12	Konzola 1	1	354,-	354,-
13	Konzola 2	1	320,-	320,-
12	Konzola 3	1	285,-	285,-
13	Hliníkové profily	1	1 250,-	1 250,-
14	Spojovací materiál	1	950,-	950,-
15	Hřídele	1	1 850,-	1 850,-
Celková cena				129 646,-

Tabulka 26 - Cenová kalkulace manipulátoru

Efektor				
Položka	Komponent	Počet	Kč / kus	Cena
1	MAXON EC – max 30	1	3 883,-	3 883,-
2	Planetová převodovka GP 32 HP	1	4 740,-	4 740,-
3	Ložisko SKF 61800	1	50,-	50,-
4	Lineární vozík MGNR7	2	732,-	1 464,-
5	Kolejnice MGNR7	2	509,-	1 018,-
6	Ozubený hřeben	2	520,-	1 040,-
7	Ozubené kolo	1	750,-	750,-
8	Deska	1	215,-	215,-
9	Hřídel	1	245,-	245,-
10	Příruba	1	360,-	360,-
11	Palec	2	480,-	960,-
12	Čelist	2	750,-	1 500,-
13	Krytování	1	1 850,-	1 850,-
14	Spojovací materiál	1	90,-	90,-
Celková cena				18 165,-

Tabulka 27 - Cenová kalkulace efektoru

Celkové náklady spojené s výrobou prototypu tohoto vozíku byly stanoveny na 255 521,-. V ceně je zahrnuta i částka spojená s řízením, která byla stanovena na 50 00,-.

16 Závěr

Na základě provedené analýzy pomůcek pro tělesně postižené a vypracovaného scénáře nákupu vozíčkáře v super a hypermarketu byl sestaven požadavkový list na motorizovaný nákupní vozík, který by osobě upoutané na invalidní vozík pomohl zcela nebo částečně odstranit bariéry, se kterými se tato osoba může při nákupu setkat.

Pro co nejoptimálnější řešení tohoto vozíku, byly vypracovány celkem tři varianty, ze kterých byla následně pomocí hodnotové analýzy vybrána varianta, která nejlépe splňovala všechna stanovená kritéria zvolená v kapitole 6. Toto řešení bylo následně zpracováno, až do finální podoby viz obr. 38.

Základem tohoto vozíku se stala pohonná jednotka firmy DKM, která díky své nízké ceně nabízí ideální poměr ceny a výkonu. Vozík budou pohánět celkem čtyři tyto pohonné jednotky, díky kterým uveze 30 kg zátěže.

Pro ukládání zboží je v přední části podvozku namontován nákupní košík o objemu 45l, což je dostačující pro středně velký nákup. Košík je vyroben z plastu a spojení je zajištěno pomocí šroubů a kolíků.

Pro nakládání zboží je v zadní části vozíku nainstalován manipulátor s pěti stupni volnosti a nosností 2,5 kg. Dosah manipulátoru činí 1950 mm od země. Tento dosah zajišťuje pohodlné naložení zboží i z horních polic, ke kterým by za normálních okolností neměla osoba na vozíku přistup. Pohonné jednotky manipulátoru jsou tvořeny motory DKM a planetovými převodovkami Apex Dynamix.

Na konci manipulátoru je umístěn modifikovaný efektor, který byl zpracováván v mé bakalářské práci. Pohon efektoru byl přepočítán a upraven na nosnost 2,5 kg a rozsah čelistí se zvětšil z původních 100 mm na současných 120 mm.

Napájení celého nákupního košíku zajišťují tři baterie typu LiFePO₄ s napětím 24 V a kapacitou 30 Ah. Pro napájení pohonů podvozku jsou využity dvě z těchto baterií, které zaručují minimálně dvouhodinový nepřetržitý provoz nákupního vozíku. Třetí baterie napájí pohony manipulátoru a i tato baterie vystačí na dvouhodinový provoz.

Součástí práce je kompletní 3D model vytvořený v programu Pro/ENGINEER Wildfire 5.0 a výkresová dokumentace vytvořená taktéž v programu Pro/ENGINEER. Namáhané součásti jsou ověřeny v programu MITCalc.

Poslední kapitola kalkuluje potřebné náklady, které by byly spojeny s výrobou prototypu tohoto vozíku. Cena samotného vozíku včetně nákupního koše byla stanovena na 57 710,-. Cena manipulátoru včetně upraveného efektoru byla spočítána na 109 646,-, z čehož samostatný efektor stojí na 18 165,-.

V ceně nejsou započteny náklady na řízení. Vozík bude řízen osobou na vozíku na základě vizuálního pohledu, popřípadě pomocí obrazu přenášeného z kamer umístěných na vozíku a na konci ramene manipulátoru. Náklady na řízení byly odhadnuty na necelých 50 000,-. Celková cena nákupního vozíku se tedy blíží ke 256 000,-.

Pro velké řetězce super a hypermarketů, kde se provoz tohoto vozíku primárně předpokládá je tato cena v porovnání s přínosem kvalitnějšího a příjemnějšího nakupování osob upoutaných na invalidní vozík téměř zanedbatelná.



Obr. 38 – Nákupní vozík

17 Seznam použité literatury

- [1] KÁRNÍK, L. *Servisní roboty*. VŠB – TU Ostrava, 2004. 144s. ISBN 80-248-0626-6.
- [2] SKAŘUPA, J – MOSTÝN, V. *Metody a prostředky návrhu průmyslových a servisních robotů*. 1. Vyd. Ostrava: VŠB – TU Ostrava, 2007. 230 s. ISBN 978-80-248-1717-0.
- [3] SKAŘUPA, J. *Průmyslové roboty a manipulátory*. 1. vyd. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2007. 260 s. ISBN 978-80-248-1522-0.
- [4] SKAŘUPA, J. *Roboty a manipulátory I*. 1. vyd. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2002. 136 s. ISBN 80-248-0044-6.
- [5] SKAŘUPA, J. *Metodika konstruování*. Ostrava, 1993, 1. Vydání. 158s. ISBN 80-7078-167-X.
- [6] LEINVEBER, J. – VÁVRA, P. *Strojnické tabulky*. 3. Vydání. Praha: Albra, 2006, 903s. ISBN 80-7078-204-5.
- [7] HOMOLA, J. *Bakalářská práce: Efektor pro manipulační subsystém Hercules*. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2010. 52 s.

Internetové zdroje:

- [8] [kompenzační pomůcky]. Centrum APA. [cit. 2012 – 05 – 08]
<http://www.apa.upol.cz/web/index.php/pomcky>
- [9] [tělesně postižení]. Helpnet. [cit. 2012 – 05 – 08]
<http://www.helpnet.cz>
- [10] [kompenzační pomůcky]. Merida. [cit. 2012 – 05 – 08]
<http://www.meridahk.cz>
- [11] [nákupní košík]. Wanzl. [cit. 2012 – 05 – 08]
http://www.wanzl.cz/200/Cz/Dom/Produkty/Vybaveni_prodejen/Nakupni_voziky/Specialni_voziky/Nakupni_vozik_pro_vozikae.html
- [12] [robotické vozítko AETHON TUG]. AETHO. [cit. 2012 – 05 – 08]
<http://www.aethon.com/default.php>
- [13] [motory a převodovky DKM]. DKM. [cit. 2012 – 05 – 08]
<http://raveo.cz/DC-motor-DKM>

- [14] [přímé planetové převodovky]. Apex Dynamix AD řada. [cit. 2010 – 05 – 08]
<http://raveo.cz/apex-AD>
- [15] [úhlové převodovky]. Apex Dynamix ADR řada. [cit. 2010 – 05 – 08]
<http://raveo.cz/apex-ADR>
- [16] [aktuátor L02]. MecVel. [cit. 2010 – 05 – 08]
<http://raveo.cz/stejnosemny-aktuator-l02>
- [17] [pohon FHA - 11C]. Harmonic Drive. [cit. 2010 – 05 – 08]
<http://www.harmonicdrive.de/english/products-kopie/servo-products/mini-servoactuators/fha-c-mini/>
- [18] [linární vedení]. HIWIN. [cit. 2010 – 05 – 08]
<http://www.hiwin.cz/cs/mgw/catalog.html?id=115>
- [19] [hliníkové profily]. Item. [cit. 2010 – 05 – 08]
<http://www.haberkorn.cz/system-hlinikovych-profilu/>
- [20] [kola]. Wilhlem Meyer GmH & Co. KG. [cit. 2010 – 05 – 08]
<http://www.meyra.cz/>
- [21] [ložisko SKF]. SKF. [cit. 2010 – 05 – 08]
http://www.skf.com/portal/skf_cz/home
- [22] [šrouby]. Akros. [cit. 2010 – 05 – 08]
<http://www.akros.cz/>

18 Seznam příloh

Kontrolní výpočty

- [1] Kontrola per
- [2] Kontrola hřídelí
- [3] Kontrola ložiska

Obrázky

- [4] Pohledy na vozík

Výkresová dokumentace

- [5] Sestavný výkres nákupního vozíku
- [6] Sestavný výkres podvozku
- [7] Sestavný výkres manipulátoru

V elektronické podobě

- [8] 3D model nákupního vozíku NAKUPNI_VOZIK.ASM
- [9] Výkresová dokumentace v programu AutoCad

19 Seznam obrázků

Obr. 1 - Invalidní vozíky.....	12
Obr. 2 - Popis invalidního vozíku.....	13
Obr. 3 - Sportovní invalidní vozík.....	13
Obr. 4 - Nákupní košík pro vozíčkáře.....	14
Obr. 5 - Jednočelistový podavač s magnetem.....	14
Obr. 6 - Dvoučelistový podavač.....	14
Obr. 7 – Sedátko do sprechy.....	15
Obr. 8 - Schodolez.....	15
Obr. 9 - Označení parkoviště pro invalidy.....	16
Obr. 10 - Varianta I.....	18
Obr. 11 - AETHON TUG.....	18
Obr. 12 - Varianta II.....	20
Obr. 13 - Varianta III.....	22
Obr. 14 - Síly a momenty působící na poháněné kolo.....	27
Obr. 15 - Valivý odpor stoupání.....	29
Obr. 16 - DC motor DKM.....	32
Obr. 17 - Šneková převodovka DKM.....	32
Obr. 18 - Hnaná náprava.....	33
Obr. 19 - Spojení rámu podvozku.....	34
Obr. 20 - Rám podvozku.....	34
Obr. 21 - Rozložený košík + pohled na podvozek s košíkem.....	35
Obr. 22 - Dosah manipulátoru.....	36
Obr. 23 - První a druhý rotační kloub.....	37
Obr. 24 - Translační rameno T1.....	38
Obr. 25 - Poslední člen manipulátoru.....	39
Obr. 26 - Řez třetího kloubu manipulátoru.....	39
Obr. 27 - Kinematická struktura manipulátoru.....	40
Obr. 28 - Silový rozbor.....	40
Obr. 29 - Silový rozbor ramene.....	42
Obr. 30 - Silové rozbor ramene.....	44
Obr. 31 - Efektor.....	47

Obr. 32 - Řez efektozem	47
Obr. 33 - Rozměry vozíku	49
Obr. 34 - Pevnostní analýza	50
Obr. 35 - Průhyb ramene	51
Obr. 36 - Kontrolované hřídele	52
Obr. 37 - Řez hnanou nápravou	52
Obr. 38 – Nákupní vozík	58

20 Seznam tabulek

Tabulka 1 – Požadavkový list	17
Tabulka 2 - Parametry varianty I	19
Tabulka 3 - Parametry varianty II	21
Tabulka 4 - Parametry varianty III	23
Tabulka 5 - Kritéria	24
Tabulka 6 - Bodovací stupnice kritérií	24
Tabulka 7 - Metoda porovnávání párů	25
Tabulka 8 - Hodnocení jednotlivých kritérií	25
Tabulka 9 - Výběr optimální varianty	26
Tabulka 10 - Základní parametry manipulátoru	36
Tabulka 11 - Parametry lineárního aktuátoru L02	38
Tabulka 12 – Hodnoty pro výpočet	40
Tabulka 13 - Parametry pohonu FHA - 11C - 100	41
Tabulka 14 - Hodnoty pro výpočet	42
Tabulka 15 - Parametry motoru DKM	43
Tabulka 16 – Parametry převodovky AD047	43
Tabulka 17 - Hodnoty pro výpočet	44
Tabulka 18 - Parametry převodovky AD090	45
Tabulka 19 - Hodnoty pro výpočet	45
Tabulka 20 - Parametry převodovky ADR 064	46
Tabulka 21 - Parametry pohonu	48
Tabulka 22 - Parametry efektoru	48
Tabulka 23 - Základní parametry vozíku	49
Tabulka 24 - Parametry ložiska	53
Tabulka 25 - Cenová kalkulace podvozku	54
Tabulka 26 - Cenová kalkulace manipulátoru	55
Tabulka 27 - Cenová kalkulace efektoru	56

Poděkování

Velice rád bych poděkoval za podnětný přístup vedoucímu mé diplomové práce doc. Ing. Zdeňku Konečnému, Ph.D., který mi po celou dobu zpracování diplomové práce poskytoval konzultace a cenné rady. Dále chci poděkovat všem ostatním, kteří mi přispěli svými radami při řešení této práce.